

Explorando la relación entre materiales y la excitación de plasmones de superficie.

Exploring the relationship between materials and surface plasmon excitation.

Sergio de la Cruz Arreola* (1).
Universidad Politécnica de Chiapas.
sdelacruz@upchiapas.edu.mx.

Perla Yazmín Sevilla-Camacho (2). Universidad Politécnica de Chiapas. psevilla@upchiapas.edu.mx.

Bianca Y. Perez Sariñana (3). Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. bianca.perez@unicach.edu.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en septiembre 30, 2024; aceptado en octubre 18, 2024.

Resumen.

En este trabajo se explora la relación entre la eficiencia de excitación de los plasmones-polaritones de superficie (PPS) y el material del acoplador. Se presentan resultados para una geometría optimizada, mostrando la dependencia de la eficiencia de excitación y la permitividad compleja del material. Hemos encontrado que la plata y el oro tienen la eficiencia más alta y más estable en un amplio rango de longitudes de onda.

Palabras claves: Eficiencia, excitación, geometría, plasmones polaritones de superficie.

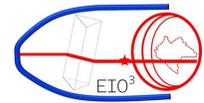
Abstract.

This work explores the relationship between the efficiency of excitation of surface plasmon-polariton (SPP) and the material of the coupler. Results are presented for an optimized geometry, showing the dependency of efficiency on the material's complex permittivity. We have found that silver and gold have the highest and most stable efficiency on a wide range of wavelengths.

Keywords: Efficiency, excitation, geometry, surface plasmon-polaritons.

1. Descripción de la conferencia.

Los plasmones-polaritones de superficie (PPS) son ondas electromagnéticas evanescentes propagándose a través de una interfaz metal-dieléctrico, éstos han atraído gran atención en las áreas de física, química, biología y ciencia de materiales debido a su confinamiento y su intensificación del campo debajo del límite de difracción lo cual lo hace prometedor en aplicaciones como sensores, celdas solares, imagen de superresolución, circuitos optoelectrónicos y más (Wang, 2019). Sin embargo, a pesar de los avances en esta área, la excitación de los PPS aún permanece como uno de los grandes retos debido principalmente a su naturaleza evanescente, la cual requiere acoplar la mayor cantidad de luz incidente a los PPS. Se puede encontrar investigación relacionada con el acoplamiento de luz a PPS a través de prismas, pero éstos no resultan prácticos para estructuras micro o nanométricas. En este sentido, es deseable una



estructura compacta que excite de manera eficiente los PPS en espacios compactos para poder integrarlos posteriormente a circuitos plasmónicos o diversas aplicaciones nanométricas (Ding,2019).

Además de la geometría del acoplador, otro factor importante es el tipo de material. En los últimos años se han propuesto materiales alternativos para reemplazar a los metales nobles como la plata y el oro (Naik, 2013). Para explorar la influencia de los materiales en la excitación de los PPS, usamos una estructura optimizada y calculamos la eficiencia de excitación como función de la permitividad del material.

2. Teoría.

Los cálculos numéricos están basados en el formalismo de la ecuación integral (Maradudin, 1997) que ha sido ampliamente usado para problemas de esparcimiento electromagnético bidimensional y estudios de acoplamiento de luz a PPS (de la Cruz Arreola, 2023). Cuando un haz incidente interactúa con una estructura superficial, parte de la energía incidente es reflejada, otra parte es absorbida y bajo ciertas circunstancias puede ser acoplado a los PPS. Definimos la eficiencia de excitación como el cociente entre la potencia que tiene el PPS y la potencia del haz incidente. La geometría considerada está ilustrada en la Fig. 1 y está basada en cálculos realizados previamente (De la Cruz, 2012).

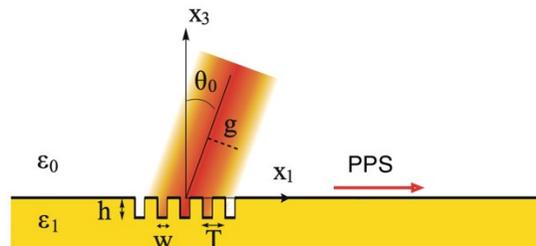


Figura 1. Perfil de la geometría del acoplador.

3. Resultados.

Los cálculos de la eficiencia de excitación como función de la parte real e imaginaria de la permitividad son presentados en la Fig. 2.

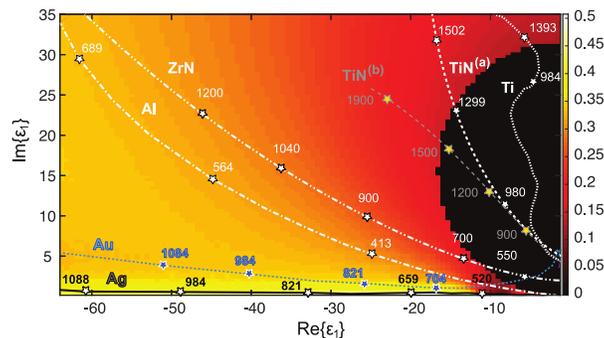
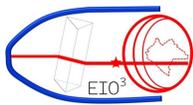


Figura 2. Eficiencia de acoplamiento como función de la parte real e imaginaria de la permitividad.

En la Figura 2 podemos observar la eficiencia de acoplamiento de una estructura de 5 canales como función de la parte real e imaginaria de la permitividad. Además, en la parte más baja del mapa se encuentran las eficiencias más altas, correspondientes a la Plata (Ag) y Oro (Au). En el mapa, el rango de la permitividad permite explorar varios materiales



como Titanio (Ti), Nitruro de Titanio (TiN), Nitruro de Zirconio (ZrN), Aluminio (Al) que han sido propuestos como alternativas para la Ag y Au.

Conclusiones.

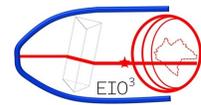
En resumen, hemos presentado un estudio numérico de la influencia del material en la excitación de PPS. Encontramos que la plata y el oro son los materiales que tienen una mayor eficiencia de excitación y se mantienen constantes para un rango de longitudes de onda de aproximadamente 500 nm a 1080nm, es decir, una estructura de Ag o Au puede ser utilizada para experimentos con distintas longitudes de onda sin que afecte notablemente su eficiencia. Materiales como Ti, TiN, ZrN y Al presentan una eficiencia menor al 25%.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por la invitación al ciclo de conferencias y por las facilidades proporcionadas.

Referencias bibliográficas.

- de la Cruz Arreola, S., Méndez, E. R., Pérez-Sariñana, B. Y., Robles Ocampo, J. B., & Sevilla Camacho, P. Y. (2023).** Influence of material parameters on the optical excitation of surface plasmon polaritons. *Plasmonics (Norwell, Mass.)*, 18(2), 503–509. doi:10.1007/s11468-022-01769-7
- de la Cruz, S., Méndez, E. R., Macías, D., Salas-Montiel, R., & Adam, P. M. (2012).** Compact surface structures for the efficient excitation of surface plasmon-polaritons. *Physica Status Solidi. B, Basic Research*, 249(6), 1178–1187. doi:10.1002/pssb.201100757
- Ding, F., & Bozhevolnyi, S. I. (2019).** A Review of Unidirectional Surface Plasmon Polariton Metacouplers. *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics: A Publication of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society*, 25(3), 1–11. doi:10.1109/jstqe.2019.2894067
- Maradudin, A. A., Michel, T., McGurn, A. R., & Méndez, E. R. (1990).** Enhanced backscattering of light from a random grating. *Annals of Physics*, 203(2), 255–307. doi:10.1016/0003-4916(90)90172-k
- Naik, G. V., Shalae, V. M., & Boltasseva, A. (2013).** Alternative plasmonic materials: beyond gold and silver. *Advanced Materials (Deerfield Beach, Fla.)*, 25(24), 3264–3294. doi:10.1002/adma.201205076
- Wang, S., Zhao, C., & Li, X. (2019).** Dynamical manipulation of surface plasmon polaritons. *Applied Sciences (Basel, Switzerland)*, 9(16), 3297. doi:10.3390/app9163297



Biografía de los investigadores.



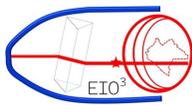
Sergio de la Cruz Arreola, originario de Pijijiapan, Chiapas. Se formó académicamente en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del Instituto Politécnico Nacional, donde completó la Licenciatura en Física y Matemáticas y una Maestría en Física. Posteriormente, realizó su Doctorado en Óptica en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), en Baja California. Actualmente, es miembro del Cuerpo Académico de Energía y Sustentabilidad (CAES), del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I) y del Sistema Estatal de Investigadores en la categoría VI. Se desempeña como docente en la Universidad Politécnica de Chiapas, donde imparte clases en la carrera de Ingeniería en Energía, la Maestría en Energías Renovables y el Doctorado en Ingeniería. Su experiencia se extiende a la dirección de tesis de maestría y doctorado, así como a la supervisión de proyectos de postdoctorado. Colabora con diversas instituciones académicas y de investigación, incluyendo la Universidad de Sonora, el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), el Instituto de Energías Renovables de la UNAM (IER) y el Laboratorio de Frío y de Sistemas Térmicos y Energéticos del Conservatorio Nacional de Artes y Oficios (LAFSET-CNAM) en París, Francia. Su investigación se enfoca principalmente en el ámbito teórico-numérico, abordando temas como la interacción de luz con nanoestructuras, la influencia de nanoestructuras en celdas solares, análisis energético de edificios y estudios sobre la radiación solar.



Dra. Perla Y. Sevilla Camacho, se formó académicamente en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, donde completó la Licenciatura en Ingeniería Electrónica. Posteriormente, realizó su Maestría en Ciencias en Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Celaya. Y finalmente, cursó sus estudios de Doctorado en Ingeniería en la Universidad Autónoma de Querétaro. Actualmente la Dra. Sevilla se desempeña como Profesora de Tiempo Completo de la Universidad Politécnica de Chiapas adscrita al programa de Ingeniería Mecatrónica, donde ha demostrado un total compromiso con la formación de profesionistas, recibiendo en diversas ocasiones reconocimientos a su desempeño docente. Así también, ha contribuido sustancialmente en la investigación, rubro donde se ha desempeñado de manera destacada, perteneciendo al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) desde el año 2013, actualmente se encuentra en la categoría del nivel 1. Así como también es miembro del Sistema Estatal de Investigadores del estado (SEI) de Chiapas en la categoría VI, como Investigador (a) (científico o tecnológico) Honorífico. Fue galardonada con la medalla al mérito estatal en desarrollo tecnológico e innovación 2022, por parte del Gobierno de Chiapas. La Dra. Sevilla ha publicado 34 artículos en revistas internacionales indizadas y arbitradas. Actualmente, posee 416 citas y un índice h 12. En desarrollo tecnológico destaca con 6 proyectos, que se integraron en paquetes tecnológicos transferibles. Estos desarrollos han sido donados a empresas 100% chiapanecas, a las cuales les han proporcionado grandes beneficios. Ha dirigido y codirigido tesis de maestría y doctorado, trabajos terminales de licenciatura y diversos proyectos de Estadías con estudiantes de nuestro programa académico. Ha sido responsable técnico de 2 proyectos financiados de CONAHCyT: Convocatoria de Ciencia Básica 2015 y Convocatoria de Ciencia de Frontera 2023. Perteneció al núcleo básico de profesores de la Maestría en Energías Renovables y del Doctorado en Ingeniería de la UPChiapas. Es miembro del Cuerpo Académico de Energía y Sustentabilidad (CAES), el cual se encuentra en estatus de "en consolidación". Además, cuenta con Reconocimiento PRODEP 2024-2027. Ha participado en diversas conferencias de foros de reconocido prestigio nacional e internacional, dentro y fuera del país, promoviendo a nuestro estado e institución.

Las líneas de investigación y de desarrollo tecnológico de interés son:

- Procesamiento digital de señales.
- Algoritmos inteligentes para detección y monitoreo de procesos.
- Instrumentación electrónica y sistemas embebidos.



Dra. Bianca Y. Perez Sariñana, Egresada de la Universidad Politécnica de Chiapas donde obtuvo Licenciatura en Ingeniería en Energía, estudió Maestría y doctorado en Ingeniería por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Fue profesora fue Profesora de tiempo completo del programa académico de Ingeniería en Energía del 2015 al 2021, así como también fue directora del programa académico de Ingeniería en Energía y coordinadora de la Maestría en Energías Renovables de la Universidad Politécnica de Chiapas del 2020 al 2021. De 2021 a 2023 fue profesora del programa educativo de Ingeniería en Energía de la Universidad Autónoma del Carmen. Actualmente es Coordinadora de la Ingeniería en Energías Renovables del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables de una UNICACH. Ha sido observadora del CACEI y evaluadora en revistas científicas. Ha realizado trabajos en Colaboraciones con el Instituto de Energías Renovables de la UNAM, la Universidad Nacional de Colombia, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas en Madrid España. Autora de 15 artículos publicados, 1 libro relacionados al tema de Producción de Biogás, 1 capítulo de libro en el tema Producción de Bioetanol a partir de café y 5 desarrollos tecnológicos. También es Investigadora Nacional Nivel I y miembro del Sistema Estatal de Investigadores en la Categoría VI-Honorífico.