



## Nuevas plataformas para plasmones ultraconfinados y acoplamiento óptico a luz externa

Investigadores del ICFO abordan el problema del confinamiento de la luz en nanocavidades desde dos perspectivas diferentes. En primer lugar, logran realizar exitosamente estructuras metálicas cristalinas ultradelgadas de alta calidad que pueden admitir plasmones espacialmente comprimidos; y en segundo lugar, demuestran una técnica eficiente para acoplar la luz a plasmones superficiales confinados.

June 25, 2024

---

Uno de los mayores desafíos en nanofotónica es el confinamiento de la luz dentro de cavidades muy pequeñas. Sin embargo, conseguir reducir al máximo la escala de longitud no es el único objetivo. Junto con un almacenamiento de la luz durante largos periodos de tiempo y la capacidad de trabajar en el régimen de frecuencia del infrarrojo cercano, constituyen tres propiedades esenciales para la nanocavidad sonada que aun nadie ha

logrado implementar simultaneamente de manera eficiente.

Existen muchos tipos diferentes de materiales y mecanismos físicos disponibles para construir nanocavidades. Un enfoque prometedor consiste en usar metales y las [excitaciones plasmonicas](#) (oscilaciones colectivas de electrones en el material) que estos pueden admitir.

Los plasmones presentan dos ventajas principales: se encuentran en el regimen del infrarrojo cercano, un rango espectral de interes tecnologico, y ofrecen un grado de confinamiento intrinsecamente alto. Sin embargo, el confinamiento de fotones durante largos periodos de tiempo, una propiedad generalmente cuantificada a traves del llamado **factor de calidad**, sigue representando un desafio.

Una de las principales razones que impiden una explotacion mas amplia de los plasmones confinados es su escaso acoplamiento a la luz. La causa radica en la disparidad entre la longitud de onda de los plasmones (corta debido al ultraconfinamiento al que estan siendo forzados) y la luz (mas larga). Una forma convencional de superar este obstaculo consiste, usando la jerga cientifica, en "estructurar lateralmente la superficie del material". De hecho, el acoplamiento si que aumenta, pero a costa de modificar la cavidad misma.

En un trabajo reciente publicado en *Advanced Materials* por investigadores de ICFO, juntamente con colaboradores del Centro de Fisica de Materiales (CSIC-UPV/EHU), la Universidad del Pais Vasco y la Universidad Al-Azhar, se construyo una nanoestructura de plata cristalina de unas pocas capas atomicas de grosor (menos de 3 nm), logrando una mayor calidad que otras cavidades de grosor similar (un factor del orden de 10 en comparacion con los 2-3 logrados por tecnicas tradicionales). Sus resultados se obtuvieron gracias al nuevo proceso de fabricacion, donde primero introdujeron litograficamente las formas laterales en una oblea de silicio y luego evaporaron peliculas de plata de calidad epitaxial, obteniendo capas metalicas cristalinas ultradelgadas. De esta manera, el equipo pudo reducir el efecto perjudicial de las imperfecciones.

A pesar de sus importantes avances, los investigadores querian ir un paso mas alla. Parecia que el proceso de modelado estaba obstaculizando fundamentalmente la produccion de cavidades con un grado aun mayor de calidad y confinamiento, ambos simultaneamente. Fue entonces cuando decidieron abordar el problema desde una perspectiva diferente. En lugar de tratar de reducir las imperfecciones introducidas por la litografia, dejaron la superficie de la cavidad plana (evitando los defectos) y se centraron en aumentar el acoplamiento entre la luz y los plasmones.

La idea inicial del **Prof. ICREA en ICFO Javier Garcia de Abajo** y los miembros de su grupo **Saad Abdullah, Eduardo J. C. Dias, Jan Krpensky?** y **Vahagn Mkhitaryan** se materializo en un experimento exitoso, ahora publicado en *ACS Photonics*. En este estudio, demuestran un nuevo metodo que acopla la luz a plasmones de superficie plana de manera mas efectiva que las estrategias anteriores.

### **Acoplamiento asistido luz-plasmon**

La configuración experimental consistía en lo siguiente: discos de oro separados por un espaciador de sílice de una superficie plana de oro. Los plasmones residían en esta última y el objetivo era acoplarlos a la luz incidente.

Para lograrlo, se introdujo un dispersor dipolar, un elemento indispensable ya que facilitaba el acoplamiento de la luz a los plasmones, un proceso que, de otro modo, sería muy ineficiente. Los discos de oro se encargaban de este trabajo y, por lo tanto, la distancia entre ellos y la superficie plana de oro jugaba un papel crucial. Como dice Saad Abdullah, el primer autor del artículo: "Muy pronto entendimos que necesitábamos un dispersor para mediar y ayudar al acoplamiento de la luz a los plasmones, pero estábamos limitados en nuestro conocimiento sobre dónde colocarlo".

Finalmente demostraron que existía una separación donde el acoplamiento de la luz entrante con los plasmones era máximo. Sin embargo, la distancia óptima variaba dependiendo de si los discos estaban separados entre sí (de modo que las interacciones entre ellos fueran imposibles) o colocados más cerca (permitiendo esas interacciones). En el primer caso, los dispersores necesitaban estar aproximadamente a 150 nanómetros de distancia de la superficie de oro, mientras que en el segundo escenario la mejor separación resultó ser cinco veces menor. Esta gran diferencia resalta la influencia de las interacciones entre dispersores al diseñar instrumentos para el acoplamiento de la luz a la superficie.

En resumen, el grupo de investigación ha proporcionado dos estrategias diferentes para enfrentarse al mismo problema, ambas siendo un paso importante hacia el ultra-confinamiento de larga duración de la luz. "El primer enfoque pretende obtener películas delgadas de plata cristalina de alta calidad que tengan una menor pérdida y permitan un alto confinamiento, mientras que el segundo tiene como objetivo optimizar parámetros que permitan acoplar la máxima fracción de luz posible a los plasmones", explica Abdullah.

Ahora, esta mayor calidad de las películas plasmónicas podría aumentar la eficiencia de las células solares plasmónicas y las detecciones fototérmicas, ayudando a mejorar sus diagnósticos gracias a la limitación de pérdidas asociadas con estos equipos.

Como finalmente destaca el Prof. García de Abajo: "Hemos logrado encontrar con éxito nuevas alternativas para entender el confinamiento de la luz en nanocavidades desde diferentes perspectivas. Estos resultados suponen un gran avance para las aplicaciones nanoplasmonicas en optoelectrónica, detección óptica y la exploración de fenómenos de óptica cuántica a la escala de longitud de unos pocos nanómetros".

### **Referencia bibliográfica**

Mkhitarian, V. et al. Ultraconfined plasmons in atomically thin crystalline silver nanostructures. *Adv. Mater.* 23, 25820 (2022). <https://doi.org/10.1002/adma.202302520>  
Saad Abdullah, Eduardo J. C. Dias, Jan Krpensky?, Vahagn Mkhitarian, and F. Javier García de Abajo. Toward Complete Optical Coupling to Confined Surface Polaritons, *ACS Photonics*.

----- (2024). <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.3c01742>

**Descripcion de las ilustraciones**

**Pie de foto a:** Un nuevo metodo de fabricacion, que consiste en un modelado previo de una capa atomica plana de silicio y hacer crecer epitaxialmente peliculas de plata cristalinas de pocas capas atomicas, produce estructuras que soportan plasmones ultraconfinados y de vida relativamente larga.

**Pie de foto b:** Se ha demostrado que el acoplamiento a plasmones superficiales confinados se potencia mediante dispersores dipolares situados a una distancia adecuada de la superficie. Este concepto se implementa aqui con discos de oro que actuan como dispersores y se separan de una superficie de oro mediante un espaciador de silice.