



## **Noves plataformes per a plasmons ultraconfinats i acoblament optic a llum externa**

**Investigadors de l'ICFO aborden el problema del confinament de la llum en nanocavitats des de dues perspectives diferents. En primer lloc, aconseguixen realitzar amb exit estructures metal·liques cristal·lines ultraprimes d'alta qualitat que poden admetre plasmons espacialment comprimits; i en segon lloc, demostren una tecnica eficient per a acoblar la llum a plasmons superficials confinats.**

June 25, 2024

---

Un dels majors reptes en nanofotonica es el confinament de la llum dins de cavitats molt petites. Ara be, aconseguir reduir al maxm l'escala de longitud no es l'unic objectiu. Juntament amb un emmagatzematge de la llum durant llargs periodes de temps i la capacitat de treballar en el regim de frequencia de l'infraroig proper, constitueixen tres propietats essencials per a la nanocavitat somiada que encara ningun ha aconseguir implementa

simultaniament de manera eficient

Hi ha molts tipus diferents de materials i mecanismes físics disponibles per construir nanocavitats. Un enfocament prometedori consisteix en utilitzar metalls i les [excitacions plasmoniques](#) (oscil·lacions col·lectives d'electrons en el material) que aquests poden suportar. Els plasmons presenten dues avantatges principals: es troben en el regim de l'infraroig proper, un rang espectral d'interès tecnològic, i ofereixen un grau de confinament intrínsecament alt. No obstant això, el confinament de fotons durant llargs períodes de temps, una propietat generalment quantificada a través de l'anomenat **factor de qualitat**, segueix representant un repte.

Una de les principals raons que impedeixen una explotació més àmplia dels plasmons confinats és el seu escàs acoblament a la llum. La causa rau en la disparitat entre la longitud d'ona dels plasmons (curta a causa de l'ultraconfinament al qual estan sotmesos) i la llum (més llarga). Una forma convencional de superar aquest obstacle consisteix, utilitzant l'argot científic, en "estructurar lateralment la superfície del material". De fet, l'acoblament sí que augmenta, però a costa de modificar la cavitat en si mateixa.

En un treball recent publicat en *Advanced Materials* per investigadors de l'ICFO, juntament amb col·laboradors del Centre de Física de Materials (CSIC-UPV/EHU), la Universitat del País Basc i la Universitat Al-Azhar, es va construir una nanoestructura de plata cristal·lina d'unes poques capes atòmiques de gruix (menys de 3 nm), aconseguint una major qualitat que altres cavitats de gruix similar (un factor de l'ordre de 10 en comparació amb els 2-3 aconseguits per tècniques tradicionals). Els seus resultats es van obtenir gràcies al nou procés de fabricació, on primerament van introduir litogràficament les formes laterals en una fina capa de silici i després van evaporar pel·lícules de plata de qualitat epitaxial, obtenint capes metàl·liques cristal·lines ultraprimes. D'aquesta manera, l'equip va poder reduir l'efecte perjudicial de les imperfeccions.

Malgrat els seus importants avanços, els investigadors volien anar un pas més enllà. Semblava que el procés de modelatge estava obstaculitzant fonamentalment la producció de cavitats amb un grau encara major de qualitat i confinament, tots dos simultàniament. Van ser llavors quan van decidir abordar el problema des d'una altra perspectiva. En lloc de tractar de reduir les imperfeccions introduïdes per la litografia, van deixar la superfície de la cavitat plana (evitant els defectes) i es van centrar en augmentar l'acoblament entre la llum i els plasmons.

La idea inicial va ser del **Prof. ICREA a ICFO Javier Garcia de Abajo** i els membres del seu grup **Saad Abdullah, Eduardo J. C. Dias, Jan Krpensky?** i **Vahagn Mkhitarian** es va materialitzar en un experiment exitós, ara publicat a *ACS Photonics*. En aquest estudi, demostren un nou mètode que acobla la llum a plasmons de superfície plana de manera més efectiva que les estratègies anteriors.

**Acoblament assistit llum-plasmo**

La configuració experimental consistia en el següent: discs d'or separats per un espaiador d'il·liti d'una superfície plana d'or. Els plasmons residien en aquesta última i l'objectiu era acoblar-los a la llum incident

Per aconseguir-ho, es va introduir un dispersor dipolar, un element indispensable ja que facilitava l'acoblament de la llum als plasmons. Un procés que, d'una altra manera, seria molt ineficient. Els discs d'or s'encarregaven d'aquesta tasca i, per tant, la distància entre ells i la superfície plana d'or jugava un paper crucial. Com diu Saad Abdullah, el primer autor de l'article: "Molt aviat vam entendre que necessitàvem un dispersor per mediar i ajudar l'acoblament de la llum amb els plasmons, però estàvem limitats en el nostre coneixement sobre on col·locar-lo

. Finalment van demostrar que existia una separació on l'acoblament de la llum entrant a través dels plasmons era màxim. Tanmateix, la distància òptima variava depenent de si els discs estaven separats entre si (de manera que les interaccions entre ells fossin impossibles) o col·locats més a prop (permetent aquestes interaccions). En el primer cas, els dispersors necessitaven estar aproximadament a 150 nanòmetres de distància de la superfície d'or, mentre que en el segon escenari la millor separació va resultar ser cinc vegades menor. Aquesta gran diferència ressalta la influència de les interaccions entre dispersors a l'hora de dissenyar instruments per a l'acoblament de la llum a la superfície. En resum, el grup de recerca ha proporcionat dues estratègies diferents per enfrontar-se al mateix problema, ambdues sent un pas important cap a l'ultra-confinament de llarga durada de la llum. "El primer enfocament preten obtenir pel·lícules primes de plata cristal·lina d'alta qualitat que tinguin una menor pèrdua i permetin un alt confinament, mentre que el segon té com a objectiu optimitzar paràmetres que permetin acoblar la màxima fracció de llum possible als plasmons", explica Abdullah. Ara, aquesta qualitat major de les pel·lícules plasmoniques podria augmentar l'eficiència de les cèl·lules solars plasmoniques i les deteccions fototermiques, ajudant a millorar els seus diagnòstics gràcies a la limitació de pèrdues associades amb aquests dispositius. Com finalment destaca el Prof. Garcia de Abajo: "Hem aconseguit trobar amb exitoses noves alternatives per entendre el confinament de la llum en nanocavitats des de diferents perspectives. Aquests resultats suposen un gran avanç per a les aplicacions nanoplasmoniques en optoelectrònica, detecció òptica i l'exploració de fenòmens d'òptica quàntica a l'escala de longitud d'uns pocs nanòmetres

### Referència bibliogràfica

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 Garcia de Abajo. Toward Complete Optical Coupling to Confined Surface Polaritons, *ACS Photonics*. ----- (2024). <https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.3c01742>

**Descripció de les il·lustracions**

**Peu de foto a:** Un nou mètode de fabricació, que consisteix en un modelatge previ d'una capa atòmica plana de silici i fer créixer epitaxialment pel·licules de plata cristal·lines de poques capes atòmiques, produeix estructures que suporten plasmons ultraconfinats i de vida relativament llarga

**Peu de foto b:** S'ha demostrat que l'acoblament a plasmons superficials confinats es potencia mitjançant dispersors dipolars situats a una distància adequada de la superfície. Aquest concepte s'implementa aquí amb discos d'or que actuen com a dispersors i se separen d'una superfície d'or mitjançant un espaiador de sílice.