

Image not found

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, aconseguen 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 freqüencia de l'infraroig proper, constitueixen tres propietats essencials per a la nanocavitat somiada que encara ningú ha aconseguit implementar simultaniament de manera eficient.

Hi ha molts tipus diferents de materials i mecanismes fisics disponibles per construir nanocavitats. Un enfocament prometedore 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'interés tecnologic, i ofereixen un grau de confinament intrinsecament alt. No obstant això, el confinament de fotons durant llargs periodes 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 amplia dels plasmons confinats es el seu escas 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 Fisica de Materials (CSIC-UPV/EHU), la Universitat del País

Vasc i la Universitat Al-Azhar, es va construir una nanoestructura de plata cristal·lina d'un s poques capes atòmiques de gruix (menys de 3 nm), aconseguint una major qualitat q e 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 n u procés de fabricació, on primerament van introduir litogràficament les formes laterals en u a fina capa de silici i després van evaporar pel·lícules de plata de qualitat epitaxial, obten nt capes metal·liques cristal·lines ultraprimes. D'aquesta manera, l'equip va poder reduir l'e ecte perjudicial de les imperfecc ions. Malgrat els seus importants avanços, els investigadors volien anar un pas mes e lla. Semblava que el procés de modelatge estava obstaculitzant fonamentalment la producc o de cavitats amb un grau encara major de qualitat i confinament, tots dos simultàniament. V ser llavors quan van decidir abordar el problema des d'una altra perspectiva. En lloc de tract r de reduir les imperfeccions introduïdes per la litografia, van deixar la superfície de la ca itat plana (evitant els defectes) i es van centrar en augmentar l'acoblament entre la llum els plas ons. La idea inicial **Prof. ICREA a ICFO Javier Garcia de Abajo** i els membres del seu grup **Saad Abdullah, Eduardo J. C. Dias, Jan Krpensky?** i **Vahagn Mkhitryan** es va materialitzar en un experiment exitos, 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 silici d'una superfície plana d'or. Els plasmons residien en aquesta última i l'objectiu er acoblar-los a la llum incident

Per aconseguir-ho, es va introduir un dispersor dipolar, un element indispensable ja qu facilitava l'acoblament de la llum als plasmons. Un procés que, d'una altra manera, seria mol ineficient. Els discs d'or s'encarregaven d'aquesta tasca i, per tant, la distància entre ells i l superfície plana d'or jugava un paper crucial. Com diu Saad Abdullah, el primer autor d 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 coneixemen sobre on col·locar-lo

. Finalment van demostrar que existia una separació on l'acoblament de la llum entrant a b els plasmons era màxim. Tanmateix, la distància òptima variava depenent de si els dis s 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 dispers rs necessitaven estar aproximadament a 150 nanòmetres de distància de la superfície d' r, mentre que en el segon escenari la millor separació va resultar ser cinc vegades men r. 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 te com a objectiu optimitzar paràmetres que permetin acoblar la màxima fracció de llum possible als plasmons", explica Abdu lah. Ara, aquesta qualitat major de les pel·lícules plasmoniques podria augmentar l'eficiència de les cel·lules solars plasmoniques i les deteccions fototermiques, ajudant a millorar els seus diagnostics gràcies a la limitació de pèrdues associades amb aquests quips. Com finalment destaca el Prof. Garcia de Abajo: "Hem aconseguit trobar amb èxit 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·lícules de plata cristal·lines de pocs capes atòmiques, produeix estructures que suporten plasmons ultraconfinats i de vides relativament llargues.

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 silici.