

Image not found

Defectes atòmics en diamants revelen una nova classe d'antenes òptiques eficients

Noves antenes òptiques basades en defectes atòmics en sòlids augmenten fins a un milió de vegades la intensitat del camp electromagnètic emes a distàncies properes. L'estudi revela la seva notable capacitat per a concentrar energia òptica, detectar i manipular el seu entorn proper.

June 17, 2024

Mes d'un segle després de la invenció de les antenes de ràdio per Henrich Hertz, i en una era on la miniaturització dels dispositius tecnològics està absolutament estesa, és natural que hagi sorgit una versió a nanoescala de les antenes convencionals.

Aquestes nanoantenes òptiques, com se les anomena, poden concentrar una gran quantitat d'energia òptica radiativa, augmentant enormement la intensitat d'un senyal electromagnètic. Això és força anàleg a com funcionen les antenes de ràdio, però en aquest cas operant a freqüències més altes i distàncies molt menors.

Avui dia, aquestes nanoantenes s'enfronten a dos reptes importants. Per començar, la seva miniaturització no pot aconseguir dimensions arbitràriament reduïdes, ja que pateixen gran pèrdua quan es fabriquen en mides nanomètriques (una mil·lionèsima part d'un metre). A més, el fet que l'antena estigui en estat sòlid pot perjudicar el senyal, ja que les interaccions amb fonons (excitacions col·lectives en sòlids) o altres fluctuacions poden limitar greument l'eficiència global.

Ara, un equip liderat per la Universitat de Chicago i amb la contribució del Laboratori Nacional Argonne i investigadors de l'ICFO, **Dr. Francesco Andreoli** i el **Prof. ICREA Darrick Chang**, ha informat a Nature Photonics sobre una nova antena òptica en un sòlid que sorteja aquests obstacles. Proposen l'ús de centres de color en diamants, específicament centres germani-vacant (GeV), com a **nanoantenes òptiques quirúrgicament precises (tant espectral com espacialment) i eficients**.

Els centres germani-vacant esdevenen nanoantenes òptiques

Un centre de color és un defecte a l'espaiat regular dels àtoms dins d'un sòlid que absorbeix i emet llum visible d'un color particular o radiació infraroja o ultraviolada. Un centre germani-vacant en un diamant és un cas particular d'un centre de color, on dos carbonis

absents son reemplaçats per un àtom de germani.

L'estudi presentat ha demostrat tant teòricament com experimentalment que els GeV, quan s'il·luminen amb llum d'una freqüència particular (la freqüència de ressonància), poden funcionar com antenes eficients. Més important encara, aquestes mostren un augment de fins a un milió de vegades en la intensitat del camp proper (es a dir, del senyal emès o absorbit a distàncies curtes

). A més, van demostrar que els GeV es poden utilitzar tant per a la manipulació activa com per a la detecció del seu entorn proper, cosa que demostra el poder d'aquestes noves nanoantenes i les seves propietats úniques

Posant llum sobre les fluctuacions de càrrega a les vacants properes

En aquest tipus de materials, pot succeir, per casualitat, que es creïn altres vacants (es a dir, àtoms de carboni omesos) properes al GeV. Aquestes vacants poden capturar o alliberar localment electrons dels àtoms de carboni circumdants que formen el diamant, canviant com a conseqüència la seva pròpia càrrega

Les fluctuacions a l'estat de càrrega de vacants properes creades aleatoriament alteren el comportament del GeV d'una manera perjudicial per a moltes aplicacions, sempre que no es controli (per exemple, per a la generació d'entrellacament entre qubits d'estat sòlid). Una de les fites que va aconseguir l'equip va ser detectar, manipular i fins i tot induir per primer vegada aquestes variacions de càrrega a les vacants de carboni.

? Segons el Dr. Francesco Andreoli: «Aquest efecte perjudicial ja s'havia observat, però fins ara no n'estava clara la causa ni com tractar-lo. Al nostre estudi oferim una explicació i un possible camí per controlar aquest problema

GeVs respecte a nanoantenes tradicionals: un enfocament complementari

Els investigadors destaquen que les nanoantenes de GeV són molt diferents a les nanoantenes tradicionals.

D'una banda, les nanoantenes estàndard estan fetes de prou àtoms com per a que la resposta òptica vingui dictada per la d'un material voluminos, mentre que l'estructura d'un GeV s'assembla a la d'un sol àtom. En conseqüència, una nanoantena de menys de deu nanòmetres (aproximadament) experimentarà una absorció massiva, cosa que fa que perdi dràsticament la seva eficiència i no pugui amplificar el camp al màxim. Per contra, l'eficiència d'un GeV com a antena òptica ve donada per la coherència quàntica, que efectivament està desacoblada de la seva mida física. Això fa que el GeV sigui perfectament compatible amb distàncies nanomètriques, cosa que comporta les grans millores en l'amplificació del senyal electromagnètic reportades a l'estudi

D'altra banda, aquest mateix mecanisme provoca que les amplades de banda en que cadascuna pot operar siguin molt diferents. Les nanoantenes tradicionals són adequades per a grans amplades de banda, mentre que els GeV només poden funcionar en amplades de

banda mes estretes. Encara que per a algunes aplicacions es molt desitjable una gra amplada de banda (ja que garanteix una capacitat de conduccio de banda ampla), l'amplad de banda reduida dels GeV ofereix una notable sensibilitat a pertorbacions febles qu altrament passarien desapercibudes

Noves direccions per a les nanoantenes optiques

Ates que les amplificacions de camp es fan servir sovint en fotoquimica, una aplicacio directa de les nanoantenes de GeV podria ser millorar la deteccio de molecules mitjancant espectroscopia Raman o altres tecniques basades en llum. Els sensors optics i les tecnologies quantiques tambe se'n podrien beneficiar, per exemple a l'hora de controlar la decoherencia en qubits d'estat solid.

En resum, aquest estudi obre camins inexplorats per a les nanoantenes optiques, el regim tipic de funcionament de les quals era molt diferent, tant a nivell tecnic com a nivell mes conceptual i de llarg termini.

"El gran camp proper generat a distancies curtes permet concentrar energia de manera massiva en un volum notablement petit, augmentant l'eficiencia optica i permetent una alta precisio espacial", emfatitza Andreoli sobre les nanoantenes reportades. "Pero en un terreny mes ampli, això només mostra un exemple especific de com la nostra nova perspectiva sobre els centres de color podria obrir noves direccions per a les nanoantenes optiques cap a regims encara inexplorats".

Referencia bibliografica:

Li, Z., Guo, X., Jin, Y. et al. Atomic optical antennas in solids. Nat. Photon. (2024). <https://doi.org/10.1038/s41566-024-01456-5>.