



## 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 grans pèrdues 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, el **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 són 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 (és 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 (és 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 aleatòriament 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

un possible camí per controlar aquest problema

### **GeV respecte a nanoantenes tradicionals: un enfocament complementari**

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

D'una banda, les nanoantenes estandard estan fetes de prou atoms com per a que la resposta optica vingui dictada per la d'un material voluminos, mentre que l'estructura d'un GeV s'assembla a la d'un sol atom. En conseqüència, una nanoantena de menys d (aproximadament) deu nanometres experimenta una absorcio massiva, cosa que fa que perd drasticament la seva eficiencia i no pugui amplificar el camp al maxim. Per contra, l'eficiencia d'un GeV com a antena optica ve donada per la coherencia quantica, que efectivament est desacoblada de la seva mida fisica. Això fa que el GeV sigui perfectament compatible amb distancies nanometriques, cosa que comporta les grans millors en l'amplificacio del senyal electromagnetic reportades a l'estudi

D'altra banda, aquest mateix mecanisme provoca que les amplades de banda en que cad una pot operar siguin molt diferents. Les nanoantenes tradicionals son adequades per grans amplades de banda, mentre que els GeV només poden funcionar en amplades de banda més estretes. Encara que per a algunes aplicacions es molt desitjable una gran amplada de banda (ja que garanteix una capacitat de conduccio de banda ampla), l'amplada de banda reduïda dels GeV ofereix una notable sensibilitat a perturbacions febles que altrament passarien desapercibudes

### **Noves direccions per a les nanoantenes optiques**

Abans que les amplificacions de camp es fan servir sovint en fotoquímica, una aplicacio directa de les nanoantenes de GeV podria ser millorar la deteccio de molècules mitjançant espectroscopia Raman o altres tècniques basades en llum. Els sensors optics i les tecnologies quantiques també 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 típic de funcionament de les quals era molt diferent, tant a nivell tecnic com a nivell més 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 més ampli, això només mostra un exemple específic 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>.