

Defectes atomics en diamants revelen una nova classe d?antenes optiques eficients

Noves antenes optiques basades en defectes atomics en solids augmenten fins a un milio de vegades la intensitat del camp electromagnetic emes a distancies properes. L'estudi revela la seva notable capacitat per a concentrar energia optica, detectar i manipular el seu entorn proper.

June 17, 2024

Mes d'un segle despres de la invencio de les antenes de radio per Henrich Hertz, i en una era on la miniaturitzacio dels dispositius tecnologics esta absolutament estesa, es natural que hagi sorgit una versio a nanoescala de les antenes convencionals.
Aquestes nanoantenes optiques, com se les anomena, poden concentrar una gran quantitat d'energia optica radiativa, augmentant enormement la intensitat d'un senyal electromagnetic. Aixo es forca analeg a com funcionen les antenes de radio, pero en aquest cas operant a freqüencies mes altes i distancies molt menors

Avui dia, aquestes nanoantenes s'enfronten a dos reptes importants. Per comencar, la sev miniaturitzacio no pot aconseguir dimensions arbitrariament reduides, ja que pateixen gran perdues quan es fabriquen en mides nanometriques (una milmilionesima part d'un metre). mes, el fet que l'antena estigui en estat solid pot perjudicar el senyal, ja que les interaccion amb fonons (excitacions col·lectives en solids) o altres fluctuacions poden limitar greume t l'eficiencia globa

. Ara, un equip liderat per la Universitat de Chicago i amb la contribucio del Laborato i Nacional Argonne i investigadors de l'ICFO, e**Dr. Francesco Andreoli** i el **Prof. ICREA Darrick Chang**, ha informat a Nature Photonics sobre una nova antena optica en un solid que sorteja aquests obstacles. Proposen l'us de centres de color en diamants, especificament centres germani-vacant (GeV), com a **nanoantenes optiques quirurgicament precises (tant espectral com espacialment) i eficients**.

Els centres germani-vacant esdevenen nanoantenes optiques

Un centre de color es un defecte a l'espaiat regular dels atoms dins d'un solid que absorbeix i emet llum visible d'un color particular o radiacio infraroja o ultraviolada. Un centre germani-vacant en un diamant es un cas particular d'un centre de color, on dos carbonis absents son reemplacats per un atom de germani.

L'estudi presentat ha demostrat tant teoricament com experimentalment que els GeV, quan s'il·luminen amb llum d'una freqüencia particular (la freqüencia de ressonancia), po en funcionar com antenes eficients. Mes important encara, aquestes mostren un augment de fins a un milio de vegades en la intensitat del camp proper (es a dir, del senyal eme o absorbit a distancies curte

). A mes, van demostrar que els GeV es poden utilitzar tant per a la manipulacio activa com er a la deteccio del seu entorn proper, cosa que demostra el poder d'aquestes no es nanoantenes i les seves propietats uniqu

Posant llum sobre les fluctuacions de carrega a les vacants properes

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

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

? Segons el Dr. Francesco Andreoli: i¿½Aquest efecte perjudicial ja s'havia observat, pero ins ara no n'estava clara la causa ni com tractar-lo. Al nostre estudi oferim una explicacio

un possible cami per controlar aquest problema

GeVs 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 conseqüencia, 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'eficienci d'un GeV com a antena optica ve donada per la coherencia quantica, que efectivament est desacoblada de la seva mida fisica. Aixo fa que el GeV sigui perfectament compatible am distancies nanometriques, cosa que comporta les grans millores en l'amplificacio del senya 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 nomes poden funcionar en amplades d 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 desapercebudes

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, aixo nomes 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:

ICFO

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.