

Image not found

Una nova eina analítica aclareix el paper de la perduda òptica en la transferència de calor de camp proper en diferents materials

Investigadors del ICFO presenten un nou marc general analític que millora l'estudi de la transferència radiativa de calor de camp proper en materials plasmonics i polars.

June 19, 2023

L'interès per estudiar la transferència radiativa de calor de camp proper (NFRHT per les seves sigles en anglès) i la transferència de calor entre objectes separats per espais submicromètrics ha augmentat considerablement en els últims anys. La NFRHT exhibeix altes densitats tèrmiques i, en teoria, aquest procés pot proporcionar millors eficiències termodinàmiques i pot tenir un impacte significatiu i millorar dràsticament el rendiment de diferents aplicacions que van des de la captació d'energia amb sistemes termofotovoltàics fins a la nanolitografia assistida per calor.

Segons les teories actuals, els modes electromagnètics evanescents, que es presenten en forma de polaritons, juguen un paper clau en el procés de transferència òptima de calor entre dos cossos en l'àmbit del camp proper. Aquests polaritons, partícules híbrides formades per un fotó acoblat a un dipol elèctric i que poden ocórrer en materials plasmonics i polars, són excitacions que exhibeixen una intensitat màxima en la interfície entre dos cossos i decauen i desapareixen exponencialment a mesura que s'allunyen del punt. Aquests modes evanescents poden originar-se de dues formes diferents en funció de material del qual estiguem parlant. En els metalls poden generar-se a partir de plasmons-polaritons superficials (la ressonància en aquest cas es causada per l'oscil·lació dels electrons que interactuen amb la llum), mentre que en el cas del dielèctric polar, aquests modes ressonants ocorren com a polaritons de fonons (que s'originen a partir de l'acoblament de les oscil·lacions col·lectives dels desplaçaments dels àtoms amb la llum). Entre les característiques de la ressonància d'aquests modes evanescents, la seva amplitud de banda juga un paper clau en la transferència de calor de camp proper. De fet, l'amplada de banda de la ressonància està relacionada amb la perduda òptica en el material, que se sap que permet l'emissió tèrmica en primer lloc, així com l'absorció en quals

vol estructura il·luminada per la llum. Per a caracteritzar quantitativament aquesta característica, els autors es basen en el factor de qualitat del material (l'anomenat factor Q) i la ressonància del polaritó. Aquest paràmetre està inversament relacionat amb l'amplada de banda de la ressonància i, per tant, amb la pèrdua òptica: com més gran sigui el factor Q, més aguda serà la ressonància. Fins ara, els estudis mostraven que la pèrdua òptica, la temperatura i altres propietats dielèctriques estaven interrelacionades de forma matemàtica en uns formalismes que no facilitaven la comprensió profunda dels fonaments de la NFRHT. Ara, els investigadors **ICFO Mariano Pascale i la professora Georgia T. Papadakis** han descrit en un nou article publicat en la revista **Physical Review Applied** un nou marc analític per a la NFRHT en materials polaritònics que utilitza les maneres evanescentes en una configuració plana (dos plans ideals separats per una distància nanomètrica que s'estenen gairebé infinitament). Aquest nou marc permet explicar la NFRHT d'una manera més completa.

Els investigadors han desenvolupat en l'estudi un nou formalisme que diferencia per primera vegada el paper de la pèrdua òptica d'altres característiques de dispersió dels materials, així com de la temperatura. Els autors mostren en el treball publicat que el factor Q per si sol no és suficient per a descriure amb precisió la NFRHT. Per a completar el marc analític de la NFRHT, han introduït el paràmetre de residu de material B, una quantitat independent de les pèrdues que abasta propietats crítiques en materials polaritònics, és a dir, la freqüència de ressonància i l'ample espectral de l'anomenada banda Reststrahlen.

Els autors de l'estudi han obtingut una expressió de caràcter universal que relaciona el factor Q òptim amb el residu de material B, identificant així la millor interacció entre la pèrdua òptica i la freqüència de ressonància que permet la màxima transferència de calor de camp proper. Amb aquest nou formalisme, els investigadors també han pogut establir els límits superiors (la conductància tèrmica màxima assolible) per a cada material analitzat. Segons el primer autor de l'estudi, Mariano Pascale, aquest nou formalisme ~~il·l~~ clarifica el paper que tenen diverses característiques de dispersió del material, com la pèrdua òptica i el factor de qualitat del material per a la transferència de calor de camp proper?

Tal i com destaquen els investigadors, ~~il·l~~ desacoblament de la temperatura, el factor de qualitat del material i el residu del material (..) permet una classificació quantitativa dels diferents materials com a candidats a una NFRHT a mesura?

Amb l'anàlisi i el formalisme descriptiu addicional descrit en el treball es pot identificar una característica òptima dels diferents materials, amb independència de la temperatura, que maximitza la NFRHT i veure també com canvia aquest procés amb la pèrdua òptica.

L'estudi inclou l'anàlisi i la classificació de diversos emissors polaritònics, com el Carburi de Silici (SiC), el Nitrur de Bor hexagonal (h-BN) i els semiconductors dopats, així com de materials plasmonics (metalls) com l'Or (Au) i la Plata (Ag).

Eliminant de l'equació la dependència de la pèrdua òptica, podem classificar

sistematicament i quantitativa una amplia gamma de materials polars i plasmonics rellevants per a la transferència de calor radiativa de camp proxim", explica Mariano Pascale.

El nou formalisme ofereix una descripció compacta i robusta d'aquest efecte i concorda de manera excel·lent amb l'electrodinàmica fluctuacional, conclou l'investigador del ICF

Article original

Pascale, M. Papadakis, G. (2023) [Tight bounds and the role of optical loss in polariton-mediated near field heat transfer](#). Physical Review Applied, 19. doi:

<https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.19.034013>