

Image not found

Nueva herramienta analítica para aclarar el papel de la pérdida óptica en la transferencia de calor de campo cercano para materiales

Los investigadores del ICFO presentan un nuevo marco general y completamente analítico que mejora el estudio de la transferencia de calor por radiación de campo cercano en materiales plasmónicos y polares.

June 19, 2023

El interés por estudiar la transferencia radiativa de calor de campo cercano (NFRHT por sus siglas en inglés) y la transferencia de calor entre objetos separados por espacios submicrométricos ha aumentado considerablemente en los últimos años. La NFRHT exhibe altas densidades térmicas y, en teoría, este proceso puede proporcionar mejores eficiencias termodinámicas y puede tener un impacto significativo y mejorar drásticamente el rendimiento de varias aplicaciones que van desde la captación de energía con sistemas termofotovoltaicos hasta la nanolitografía asistida por calor.

Según las teorías actuales, los modos electromagnéticos evanescentes, que se presentan en forma de polaritones, tienen una contribución clave en el proceso de transferencia óptima de calor entre dos cuerpos en el ámbito del campo cercano. Estos polaritones, que se consideran partículas híbridas formadas por un fotón fuertemente acoplado a un dipolo eléctrico y que pueden ocurrir en materiales plasmónicos y polares, son excitaciones que exhiben una intensidad máxima en la interfaz entre dos medios y decaen exponencialmente a medida que se alejan de ella.

Estos modos evanescentes pueden originarse de dos formas distintas en función del material. En los metales pueden generarse a partir de plasmones-polaritones superficiales (la resonancia en este caso es causada por la oscilación de los electrones que interactúan con la luz), mientras que en el caso del dieléctrico polar, tales modos resonantes ocurren en forma de polaritones de fonones (que se originan a partir del acoplamiento de las oscilaciones colectivas de los desplazamientos de los átomos con la luz).

Entre las características de la resonancia de estos modos evanescentes, su ancho de banda juega un papel clave en la transferencia de calor de campo cercano. De hecho, el ancho de banda de la resonancia está relacionado con la pérdida óptica en el material, que se sabe que

permite la emisión térmica en primer lugar, así como la absorción en cualquier estructura iluminada por la luz. Para caracterizar cuantitativamente esta característica, los autores se basan en el factor de calidad del material (el llamado factor Q) de la resonancia del polaritón. Este parámetro está inversamente relacionado con el ancho de banda de resonancia y, por lo tanto, con la pérdida óptica: cuanto mayor sea el factor Q, más aguda será la resonancia. Hasta ahora, los estudios mostraban que la pérdida óptica, la temperatura y otras propiedades dieléctricas estaban interrelacionadas de forma matemática en unos formalismos que no facilitaban la comprensión profunda de los fundamentos de la NFRHT.

Ahora, los investigadores del ICFO Mariano Pascale y la profesora Georgia T. Papadakis han descrito en un nuevo artículo publicado en la revista *Physical Review Applied* un nuevo marco analítico para la NFRHT en materiales polaritónicos que utiliza los modos evanescentes en una configuración plana (dos planos ideales separados por una distancia nanométrica que se extienden casi infinitamente) y que permite explicar dicho proceso de una manera más completa. Los investigadores han desarrollado un nuevo formalismo que diferencia por primera vez el papel de la pérdida óptica de otras características de dispersión de los materiales, así como de la temperatura. Los autores muestran en el trabajo publicado que el factor Q por sí solo no es suficiente para describir con precisión la NFRHT. Para completar el marco analítico de la NFRHT, han introducido el parámetro de residuo de material B, una cantidad independiente de las pérdidas que abarca propiedades críticas en materiales polaritónicos, es decir, la frecuencia de resonancia y el ancho espectral de la llamada banda Restrañen. Como resultado, los autores del estudio han obtenido una expresión de carácter universal que relaciona el factor Q óptimo con el residuo de material B, identificando así la mejor interacción entre la pérdida óptica y la frecuencia de resonancia que permite la máxima transferencia de calor de campo cercano. Con este nuevo formalismo, los investigadores también han podido establecer los límites superiores (la conductancia térmica máxima alcanzable) para cada material analizado. Según el primer autor del estudio, Mariano Pascale, este nuevo formalismo aclara el papel que tienen varias características de dispersión del material, como la pérdida óptica y el factor de calidad del material para la transferencia de calor de campo cercano. Como destacan los autores, el desacoplamiento de la temperatura, el factor de calidad del material y el residuo del material (..) permite una clasificación cuantitativa de los diferentes materiales como candidatos a una NFRHT a medida. Con el análisis y el formalismo descriptivo adicional descrito en el trabajo se puede identificar la característica óptima de los distintos materiales, con independencia de la temperatura, que maximiza la NFRHT y ver también cómo cambia este proceso con la pérdida óptica. El estudio incluye el análisis y la clasificación de, por un lado, varios emisores

s polaritonicos, como el Carburo de Silicio (SiC), el Nitruro de Boro hexagonal (h-BN) y los semiconductores dopados, así como, por otro lado, de materiales plasmonicos (metales) como el Oro (Au)

y la Plata (Ag). "Al eliminar de la ecuación la dependencia de la pérdida óptica podemos clasificar sistemática y cuantitativamente una amplia gama de materiales plasmónicos y plasmonicos relevantes para la transferencia de calor radiativo de campo cercano", explica

Mariano Pascale. El nuevo formalismo que ofrece una descripción compacta y robusta de este efecto y concuerda de forma excelente con la electrodinámica fluctuacional, concluye e

Artículo original

Pascale, M. Papadakis, G. (2023) [Tight bounds and the role of optical loss in polariton-mediated near field heat transfer](https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.19.034013). Physical Review Applied, 19. doi: <https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.19.034013>