

An ultrathin invisibility skin cloak for visible light

(Xingjie Ni *et al.*)



¿Ciencia Ficción o Realidad?



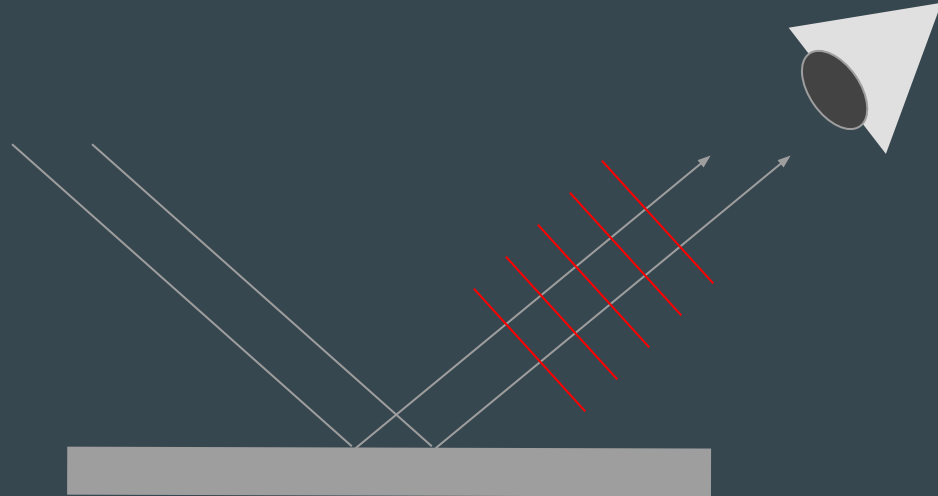
¿Por qué este paper?

- Trata un tema novedoso: la posibilidad de crear una capa de invisibilidad para luz visible
- Permite explorar un tema sólo visto en ciencia ficción con conceptos relativamente básicos de óptica, logrando un acercamiento de la ciencia a los estudiantes secundarios.
- Muestra un lado "mágico" de la física.
- Física aplicada a algo concreto (para la pregunta: ¿para qué sirve esto?)

¿Por qué vemos los objetos y cómo los podemos hacer invisibles?

¿Por qué vemos los objetos?

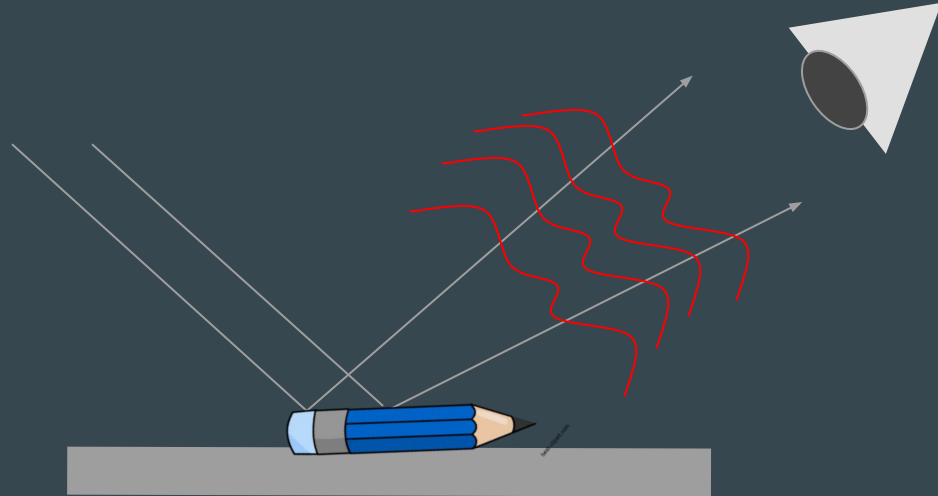
Una onda plana la interpretamos como una superficie plana.



¿Por qué vemos los objetos y cómo los podemos hacer invisibles?

¿Por qué vemos los objetos?

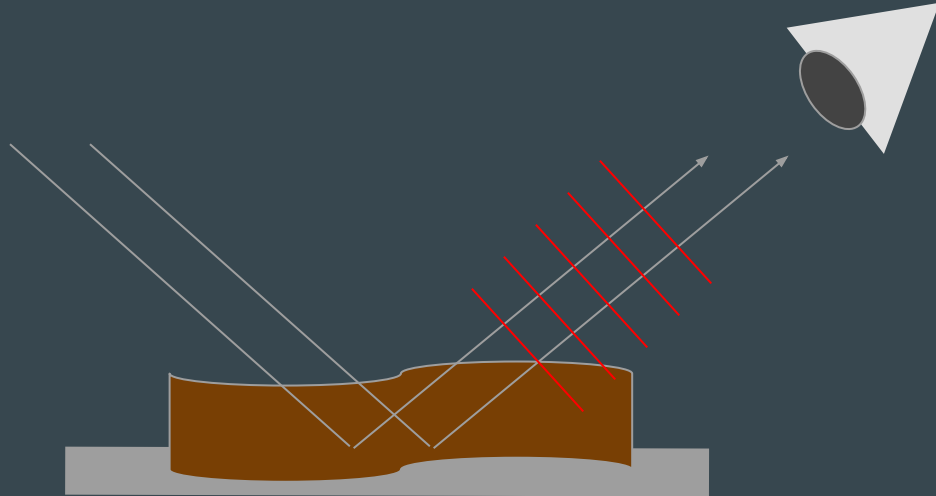
- Diferencia de camino óptico que genera una diferencia de fase.
- Hay una diferencia de amplitud entre la incidente y la reflejada.



¿Por qué vemos los objetos y cómo los podemos hacer invisibles?

¿Cómo lo hacemos invisible?

- Modificar la fase reflejada para compensar la diferencia de fase.
- Lograr una reflectancia alta para disminuir la diferencia de amplitud.



¿Cómo modificamos la fase?

- Matriz de "pixels" que generan desfases diferentes entre 0 y 2π
- Cada pixel diseñado con materiales y dimensiones específicas para obtener un dado desfase.
- Más comúnmente utilizados: nanoestructuras metálicas o nano-antenas (conformadas por metales y dieléctricos)

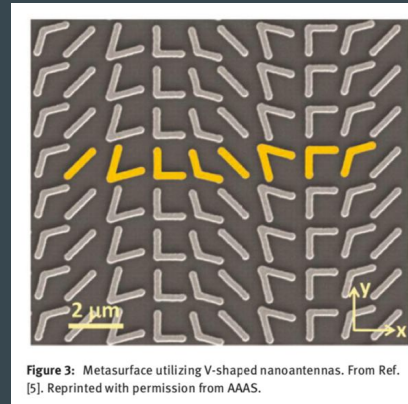
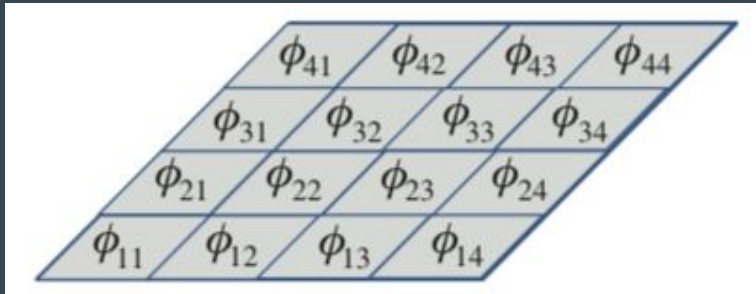
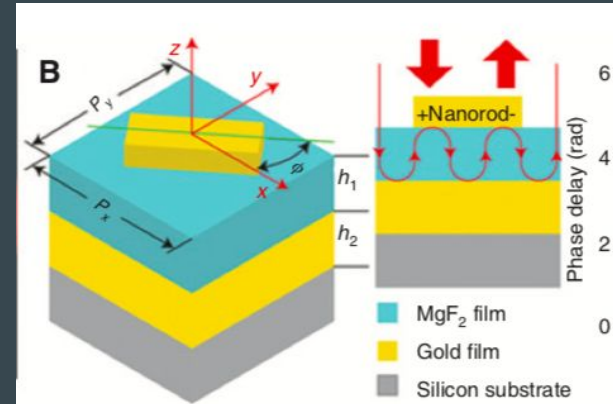
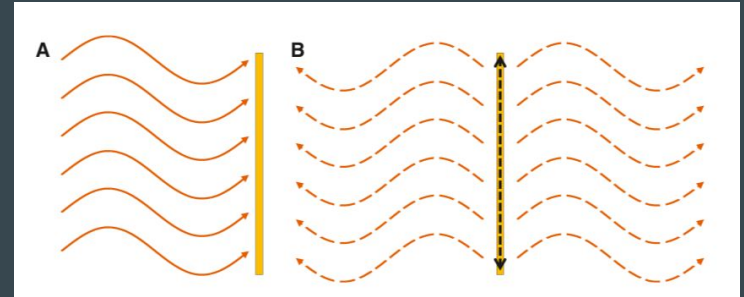


Figure 3: Metasurface utilizing V-shaped nanoantennas. From Ref. [5]. Reprinted with permission from AAAS.



Resonadores Dieléctricos vs Nanoestructuras Metálicas

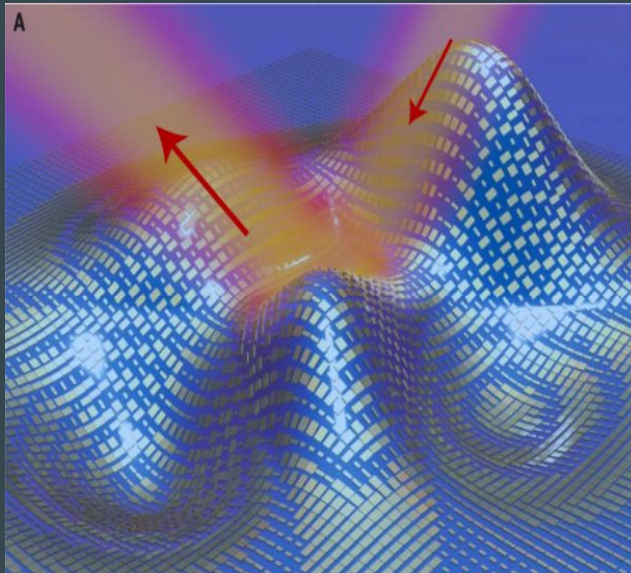
- Ventaja frente a nanoestructuras sólo metálicas: la eficiencia es mayor (para generar mayor reflectancia) y son menos sensibles a polarización.
- Si el espesor del material dieléctrico es del orden de la mitad de la longitud de onda de la luz incidente, es posible lograr un campo magnético fuerte en su centro. Se puede lograr entonces una interferencia constructiva en la dirección deseada, aumentando la eficiencia.
- Modificando la forma es posible además determinar el desfase que tendrá la onda reflejada.



Onda incide en nanoestructura metálica y se dispersa en todas las direcciones (muchas no deseadas)

Tema central del paper

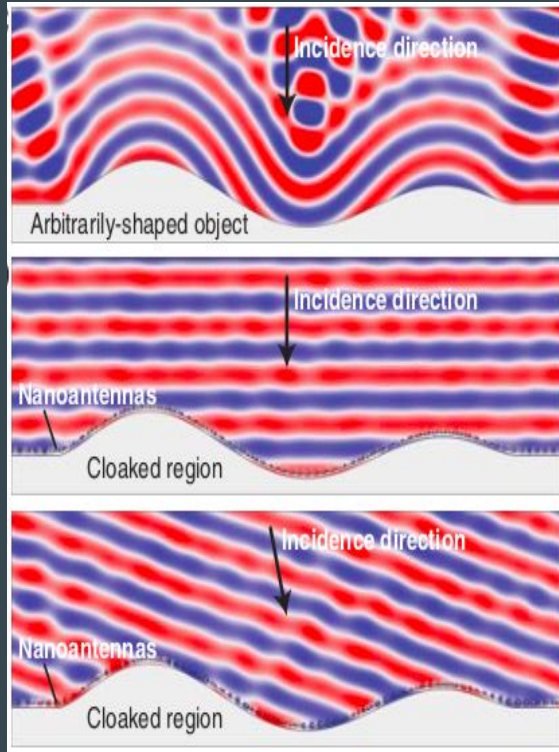
Creación de una capa de invisibilidad ultra delgada para luz visible utilizando "metasuperficies". Se logra mediante nano-antenas que reflejan el haz incidente para simular una superficie plana.



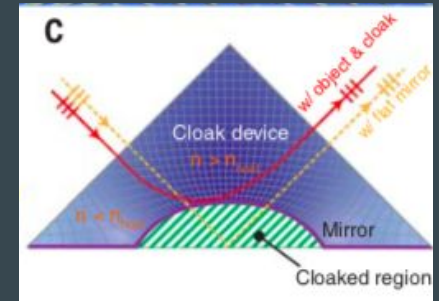
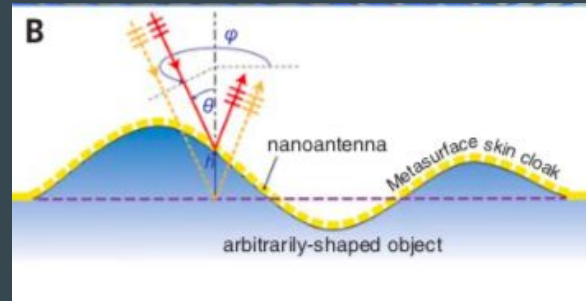
Diferencia con otras capas:

- Se logra una capa delgada
- No se produce un desfase entre la luz incidente y la reflejada haciéndola indetectable para mediciones sensibles a cambios de fase (como interferencia).

¿Cómo funciona?

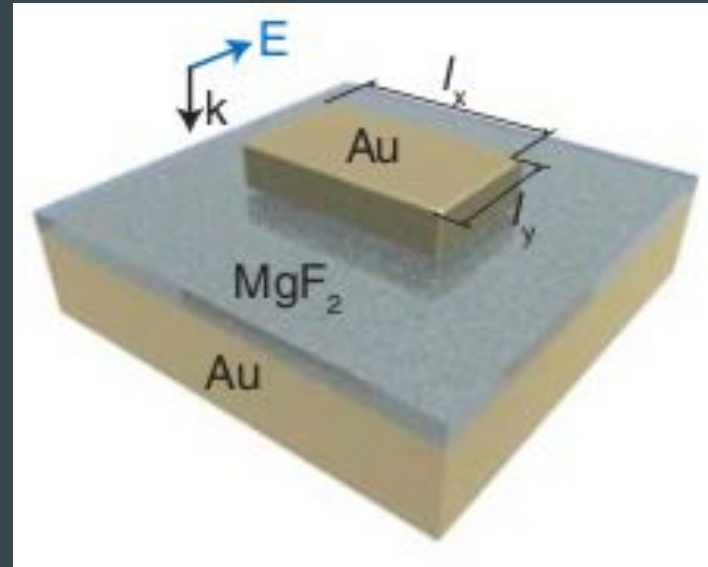
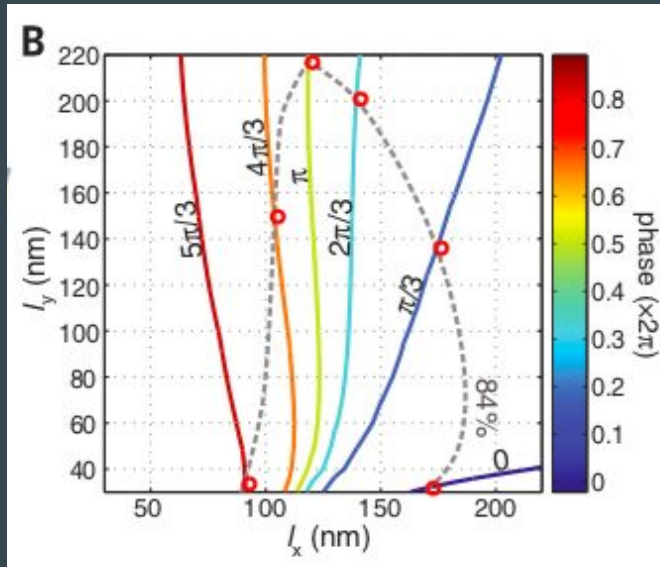


- Genera una reflexión para simular la generada por una superficie plana.
- Agrega o quita un desfase a la onda reflejada para lograr un desfase total nulo entre la incidente y la reflejada. Desfase producido por la superficie:
$$\Delta\phi = -2 k_0 h \cos(\theta) + \pi$$

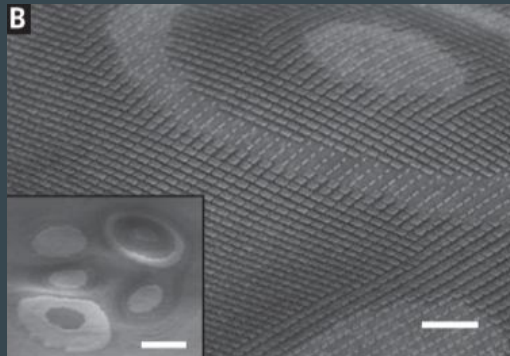
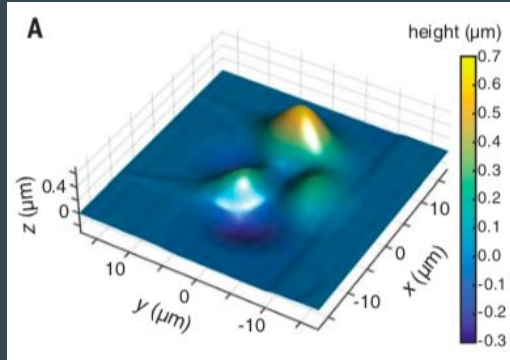


¿Cómo funciona?

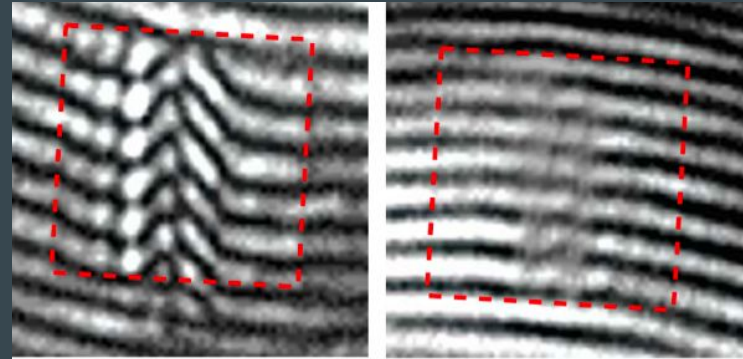
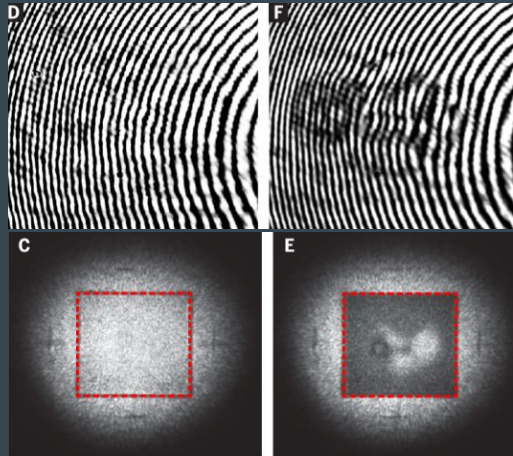
- 6 nano-antenas rectangulares diferentes que cubren desfasajes entre 0 y 2π .
- Reflectancia de cada nano-antena: 84%



¿Cómo funciona?



- Se creó una superficie arbitraria sobre la cual se coloca la capa de invisibilidad.
- Se corrobora la compensación del desfase mediante interferencia, usando una onda plana como referencia.



Conclusiones

- Mediante la inclusión de nanoestructuras es posible compensar el desfase producido en una onda reflejada con alta reflectancia, logrando una capa de invisibilidad para una longitud determinada.
- Dado las características de la metasuperficie, esta capa sólo sirve para una cierta longitud de onda, si bien hay publicaciones que demuestran que es posible lograr el mismo efecto en un rango más grande de longitudes de onda.
- La superficie de esta capa es pequeña (μm^2) pero en principio se podría fabricar metasuperficies a escalas macroscópicas.

Conceptos físicos tratados

Con la intención de llevar el tema al aula, los conceptos físicos tratados son:

- Reflexión y refracción
- Desfasajes producidos por reflexión
- Ondas electromagnéticas: luz visible
- Interferencia

Temas externos que se relacionan

Este tema se puede usar como disparador para tratar otros temas:

- Capas de invisibilidad para ondas de sonido
- Capas de invisibilidad para campos eléctricos
- Nanotecnología
- Resonancia y frecuencias de vibración dependientes de condiciones de contorno
- Campo EM

Bibliografía

- Xingjie Ni *et al.*, "An ultrathin invisibility skin cloak for visible light", *Science* **349**, 1310 (2015)
- Noguez, C. (2013). Física a la escala nanométrica, *Fronteras de la Física en el siglo XXI* (Parte II). México, DF: CopIt-arXives
- Diaz Gonzalez, G. (2013). *Estudio de Fenómenos Electromagnéticos en la Interfase de dos Medios*. Tonantzintla, Puebla
- Alzate Lopez, H. (2006). *Física de las Ondas*. Medellín.
- Scheuer, J., "Metasurfaces-based holography and beam shaping: engineering the phase profile of light", *Nanophotonics* **6**(1), 137 (2017)
- Yuval Yifat *et al.*, "High load sensitivity in wideband infrared dual-Vivaldi nanoantennas", *Optics Letters* **38**(2), 205 (2013)
- Jensen Li and J.B. Pendry, "Hiding under the Carpet: A New Strategy for Cloaking", *Physical Review Letters* **101**, 203901 (2008)
- Ming Kang *et al.*, "Wave front engineering from an array of thin aperture antennas", *Optics Express* **20**(14), 15882 (2012)

Campo EM a escalas nanométricas: plasmones de superficie

Los electrones libres de una nanopartícula nanométrica se acoplan con la radiación EM incidente a través de los *plasmones de superficie*.

Plasmones de superficie son desplazamientos de los electrones libres que oscilan colectivamente.

Existe una frecuencia característica a la cual oscilan colectivamente los electrones.

La frecuencia de resonancia depende del arreglo de las cargas de superficie, que depende de la morfología y tamaño de las nanopartículas.

Las nanoestructuras luego reflejan ondas con una fase que depende de sus dimensiones.

Imágenes extra



Considerando la amplitud

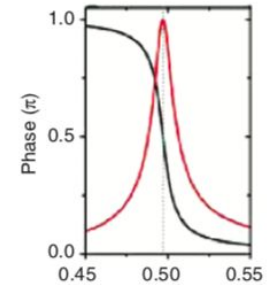


Figure 2: Phase (black) and amplitude (red) responses of a thin dipole nano-antenna. From Ref. [5]. Reprinted with permission from AAAS.

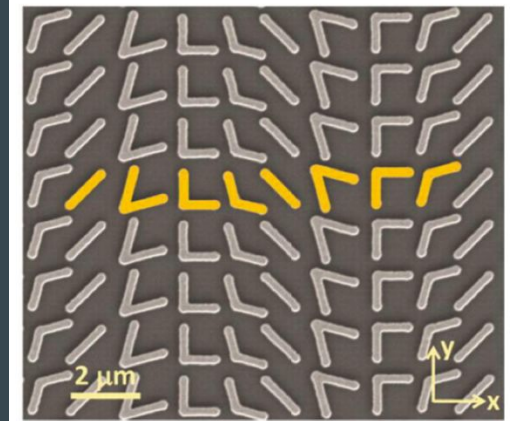


Figure 3: Metasurface utilizing V-shaped nanoantennas. From Ref. [5]. Reprinted with permission from AAAS.