

# Surface plasmons subwavelength optics

William L. Barnes, Alain Dereux and  
Thomas W. Ebbesen

NATURE, Vol 424, 14 AUGUST 2003

# Organización de la charla

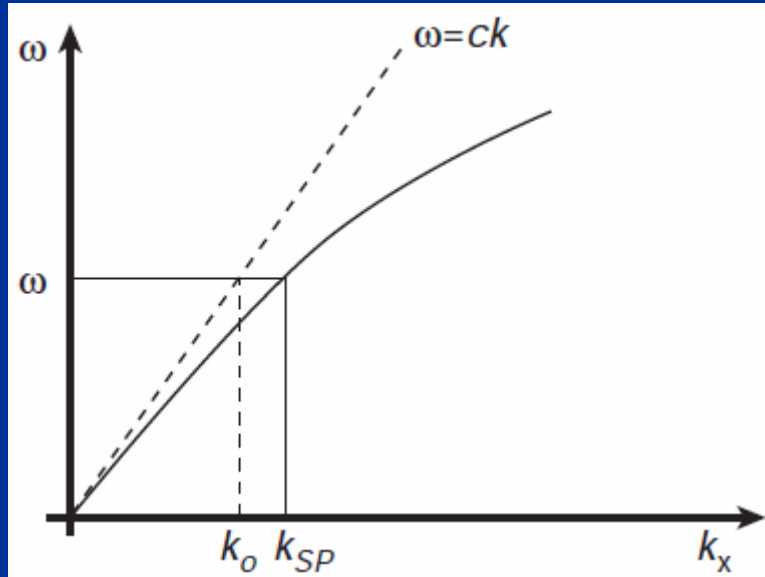
- Generación de y propagación de SPs
- Estructura de bandas (stop band)
- Mapeos de SPs y guías de ondas
- Arreglo de huecos
- Aperturas individuales
- Perspectivas?

# Generacion de SPs

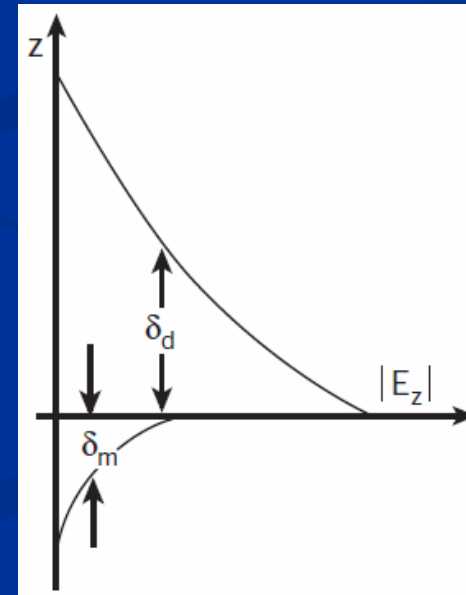
- Interacción entre campo EM y cargas en la superficie: Dos consecuencias.

$$\hbar k_{SP} > \hbar k_0$$

Campo evanescente en z



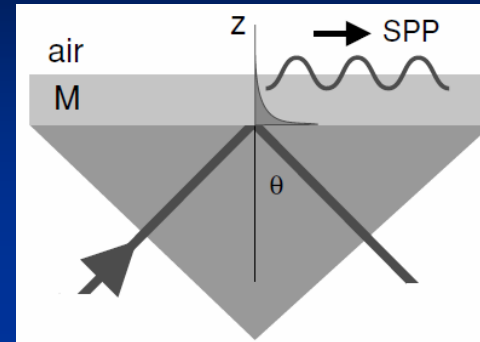
Ej:  $k_{SP} = 1.03k_0$  para interfaz aire-plata



# Resolución diferencia momentos

- Utilizar un prisma:

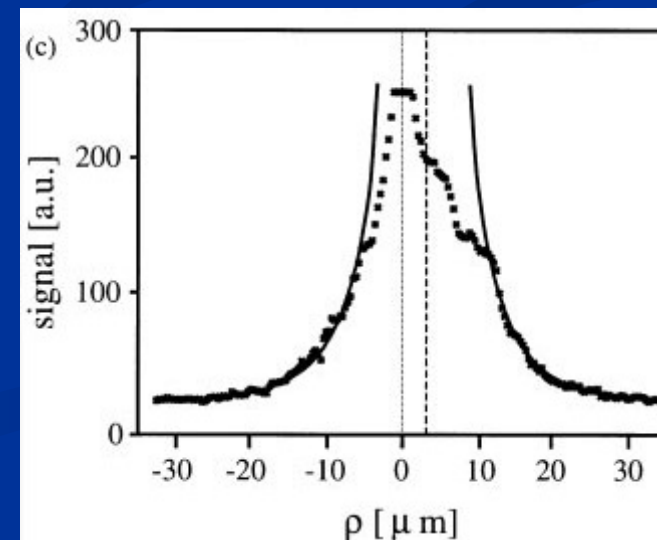
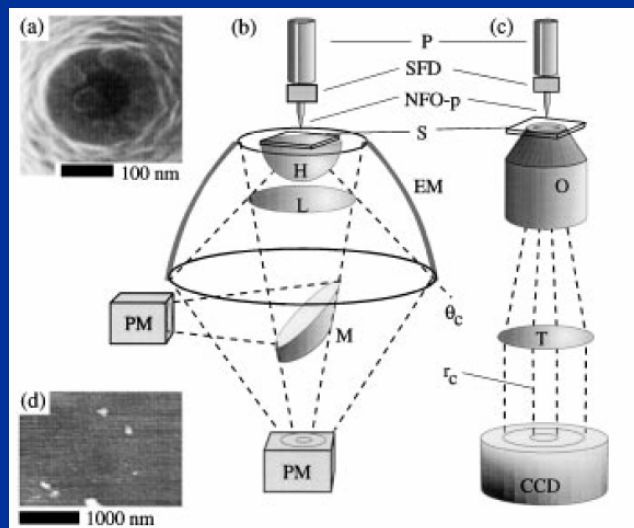
(Otto, A. Excitation of nonradiative surface plasma waves insilver by the method of frustrated total reflection. *Z. Phys.* 216, 398 (1968)).



Aumento el  $k$  de la onda incidente.

- Scattering debido a defectos topográficos de la superficie:

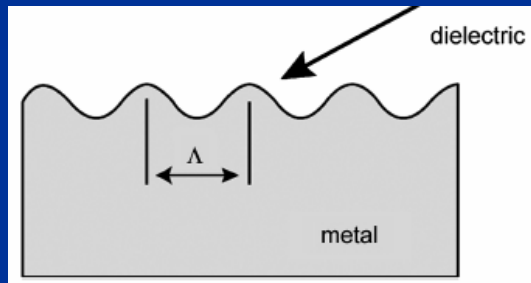
(Hecht, B., Bielefeldt, H., Novotny, L., Inoué, Y. & Pohl, D. W. Local excitation, scattering, and interference of surface plasmons. *Phys. Rev. Lett.* 77, 1889–1892 (1996))



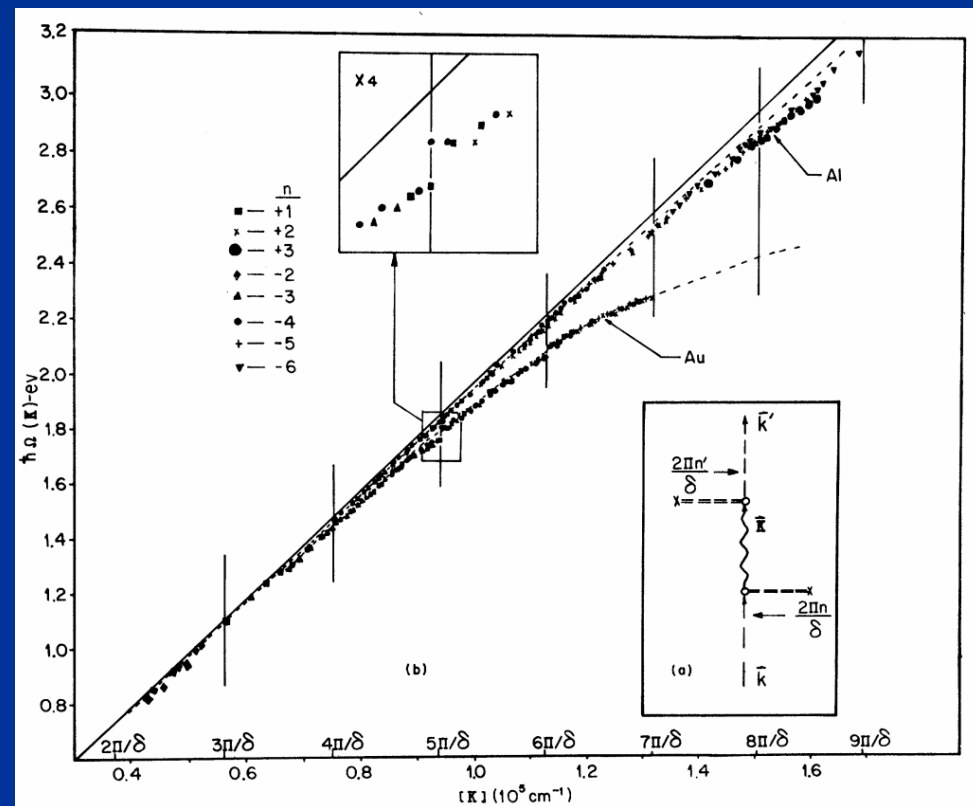
# Resolución diferencia momentos

## - Corrugaciones periódicas en la superficie del metal:

(Ritchie, R. H., Arakawa, E. T., Cowan, J. J. & Hamm, R. N. Surface-plasmon resonance effect in grating diffraction. *Phys. Rev. Lett.* **21**, 1530–1533 (1968))



Parte del momento en la dirección normal es absorbido por la rejilla



# Propagación de SPs

- Longitud decaimiento:

$$\delta_{SP} = \frac{1}{2k_{SP}''} = \frac{c}{\omega} \left( \frac{\epsilon_m' + \epsilon_d}{\epsilon_m' \epsilon_d} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{(\epsilon_m'')^2}{\epsilon_m''}$$

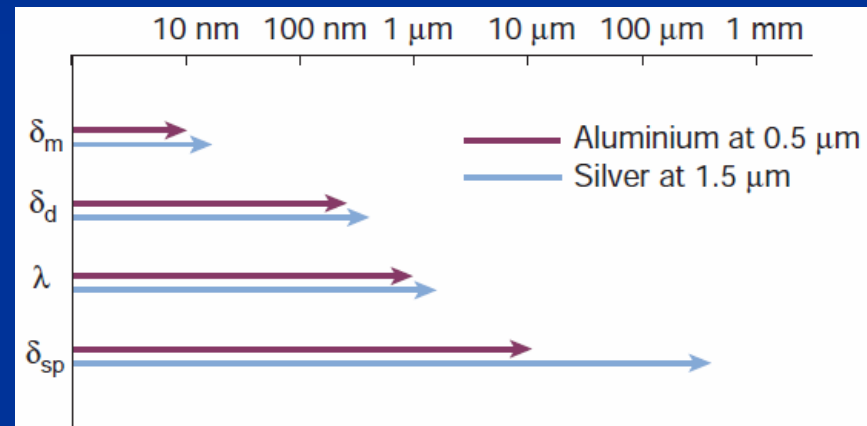
$\delta_m$  longitud decaimiento metal

$\delta_d$  longitud decaimiento dieléctrico

Para  $\lambda=500$  nm,

$\delta_{sp} = 2$  micrones para aluminio

$\delta_{sp} = 20$  micrones para plata



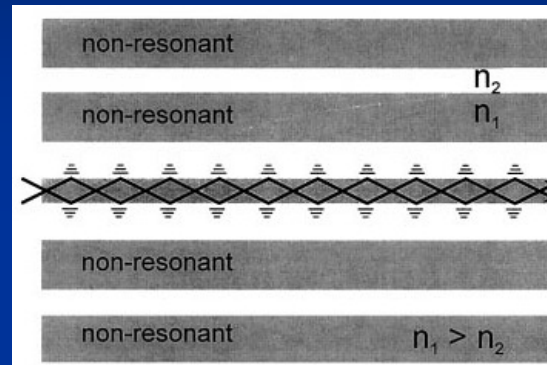
Solución: Integrar muchos dispositivos SPs antes que las perdidas sean importantes.

# Estructura de bandas de SPs

## - Photonic Bandgap (PBG)

Usando aislantes y semiconductores:

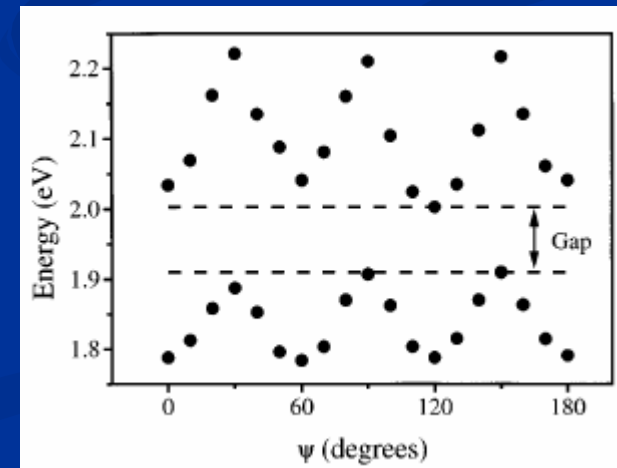
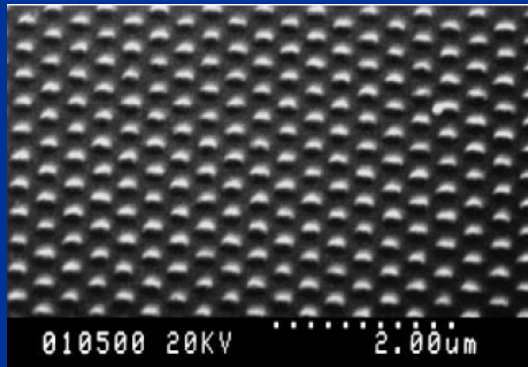
(Cregan, R. F. *et al.* Single-mode photonic band gap guidance of light in air. *Science* **285**, 1537–1539 (1999))



Photonic  
crystal  
Fiber

Usando SPs:

Kitson, S. C., Barnes, W. L. & Sambles, J. R. A full photonic band gap for surface modes in the visible. *Phys. Rev. Lett.* **77**, 2670–2673 (1996).

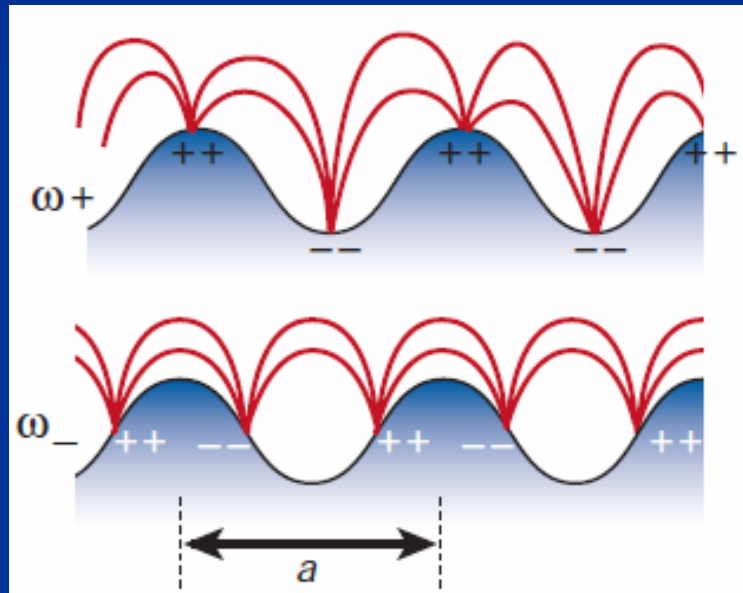


Arreglo hexagonal en una superficie de plata

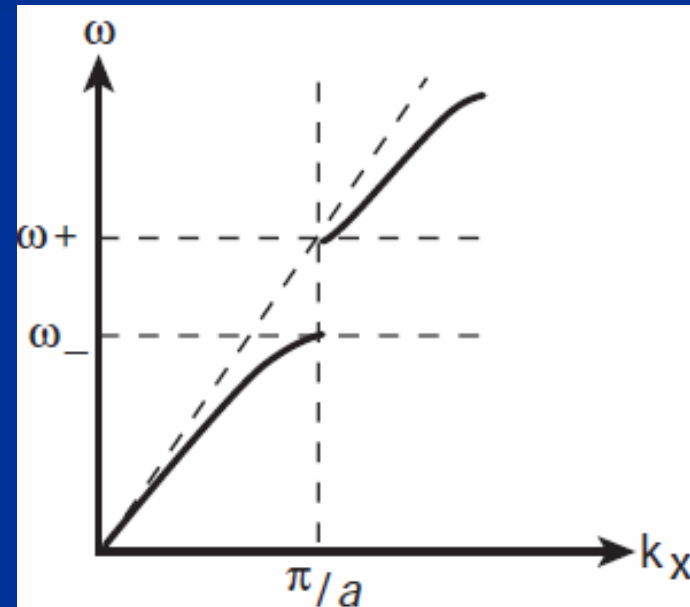
# Estructura de bandas de SPs

## - Photonic Bandgap usando SPs

Cuando  $a$  es la mitad de la longitud de onda se forman bandas como en solidos cristalinos



Dos soluciones de ondas estacionarias  $\omega_+$  y  $\omega_-$

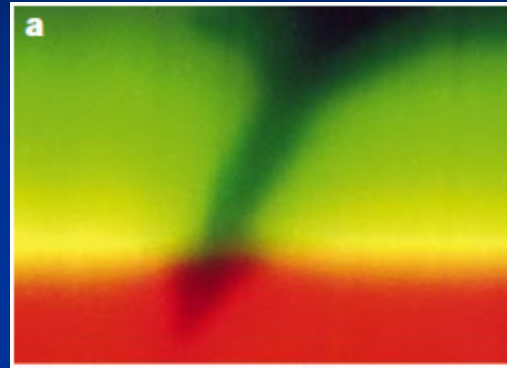


No hay ondas estacionarias con frecuencias entre  $\omega_+$  y  $\omega_-$



# Estructura de bandas de SPs

Imagen utilizando una superficie plana



Arreglo con un espaciado de  $\lambda/2$

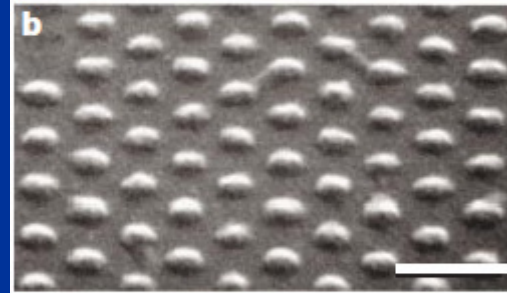
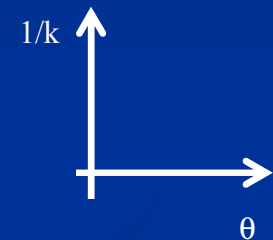
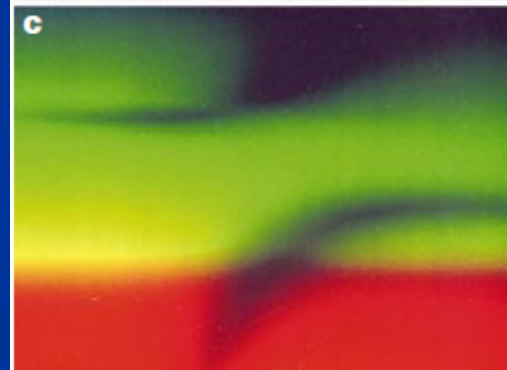


Imagen utilizando un arreglo periódico



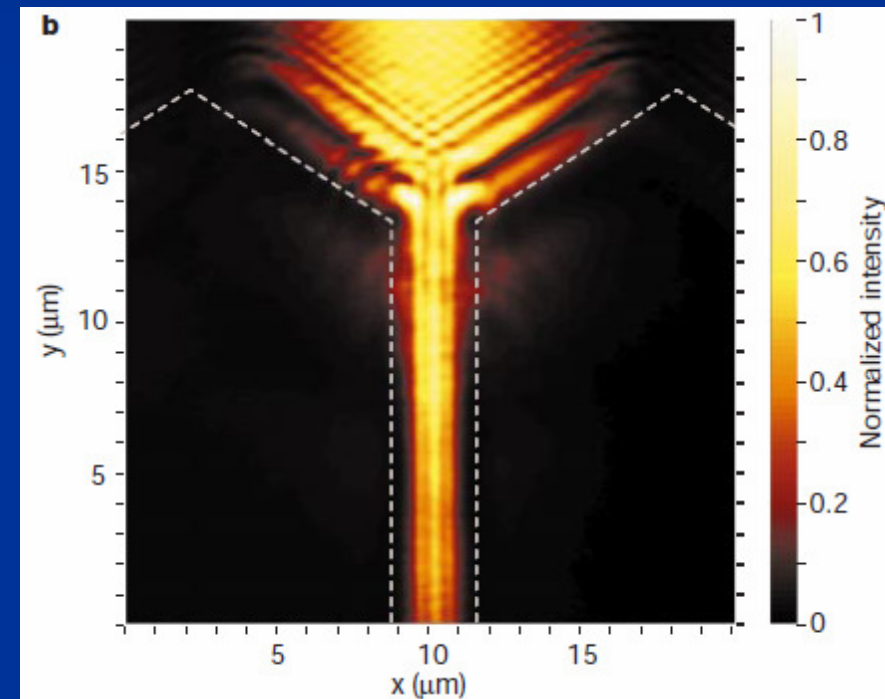
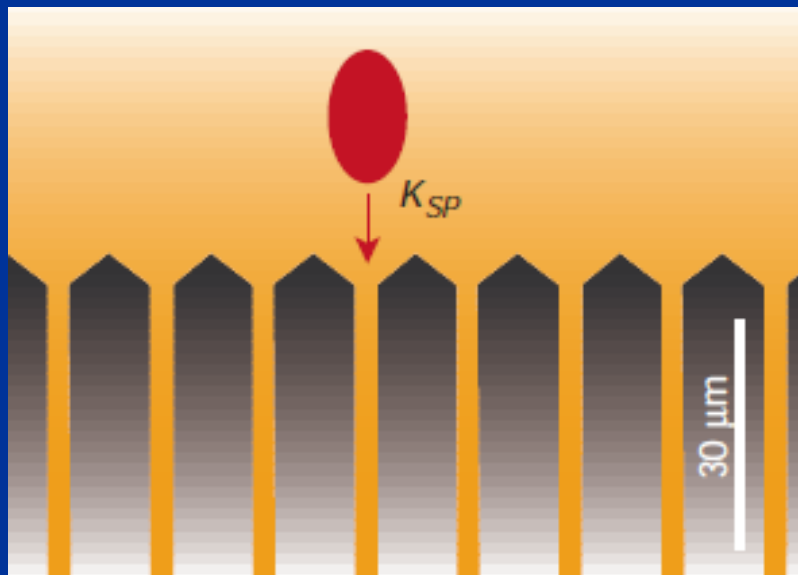
# Mapeo de SPs y guías de ondas

- Mediciones

$$\Delta E_i \Delta H_j \geq \hbar c^2 / 2 \delta l^4$$

Limitación por “principio de incertidumbre”

- Guía de ondas 1:



PSTM imagen de un nanowire

# Guías de ondas usando SPs

## - Guía de ondas 2:

(Weeber, J. C., Dereux, A., Girard, C., Krenn, J. R. & Goudonnet, J. P. Plasmon polaritons of metallic nanowires for controlling submicron propagation of light. *Phys. Rev. B* **60**, 9061–9068 (1999))

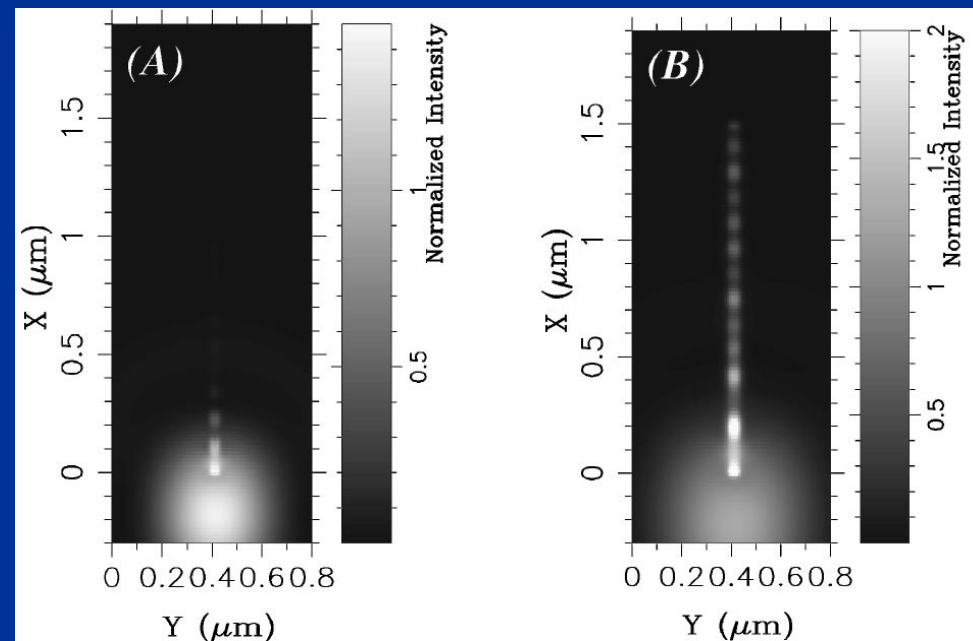
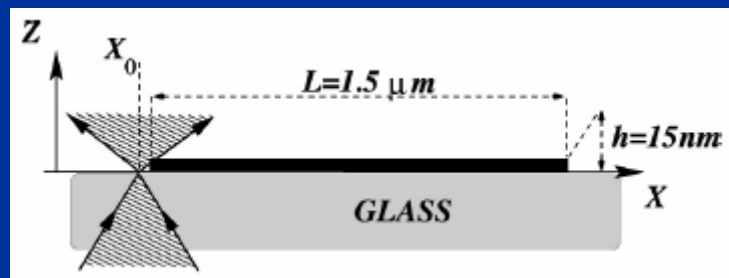
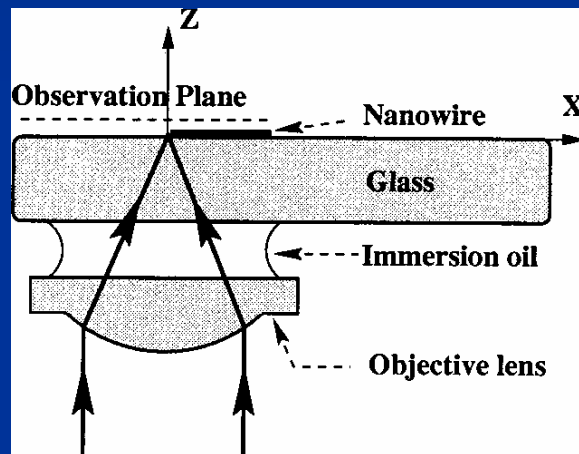
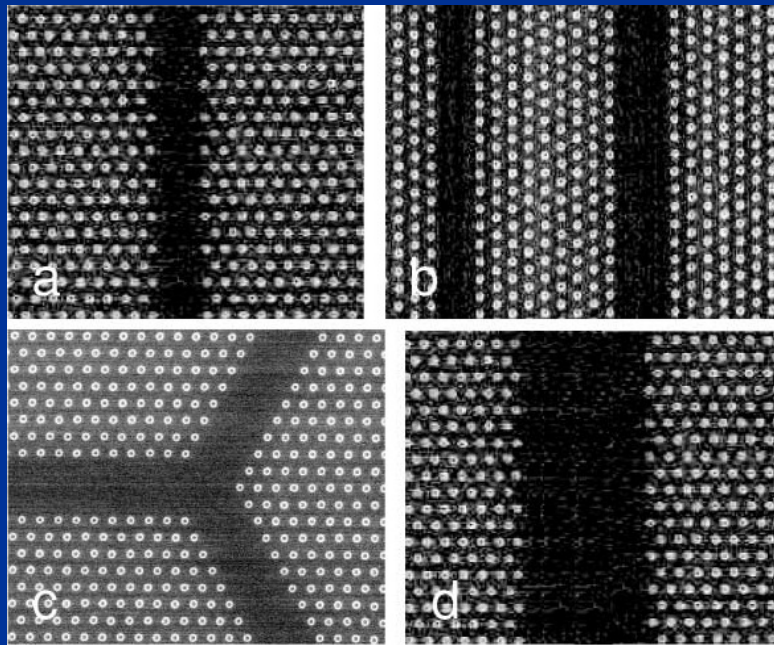


Imagen fuera de resonancia y en resonancia

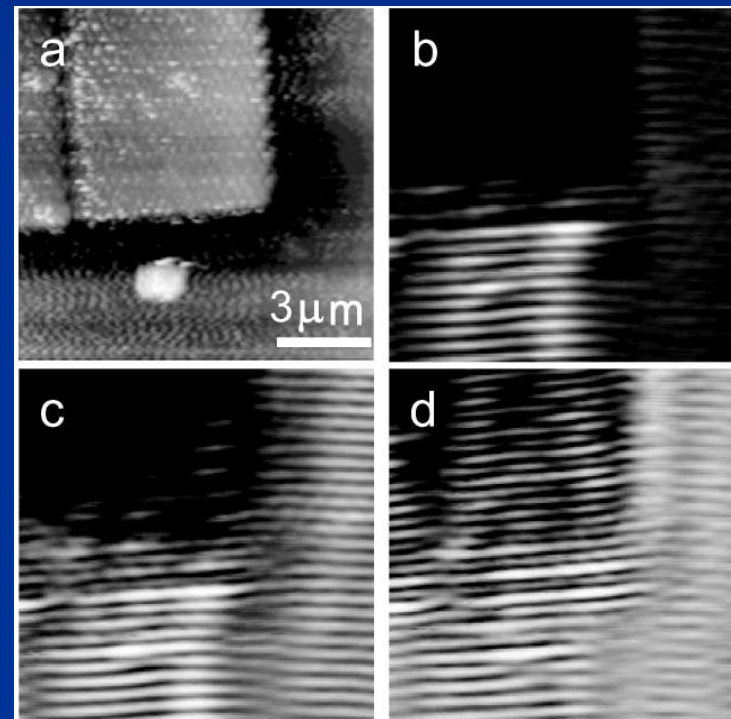
# Guías de ondas usando SPs

## - Guía de ondas 3:

(Bozhevolnyi, S. I., Erland, J., Leosson, K., Skovgaard, P. M. W. & Hvam, J. M. Waveguiding in surface plasmon polariton band gap structures. *Phys. Rev. Lett.* **86**, 3008–3011 (2001))



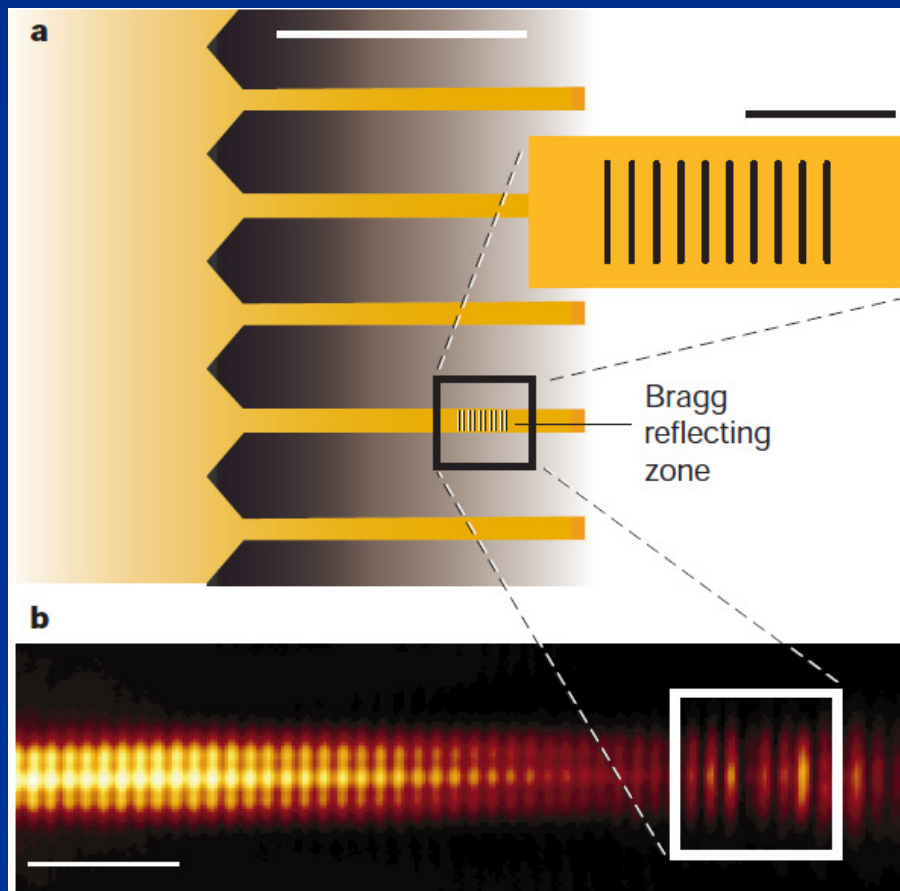
Imágenes de red triangular de una capa resistiva colocada sobre oro de 45nm.



Los defectos funcionan como guías de ondas.

# Dispositivo SPs

- Dispositivos para circuitos fotónicos

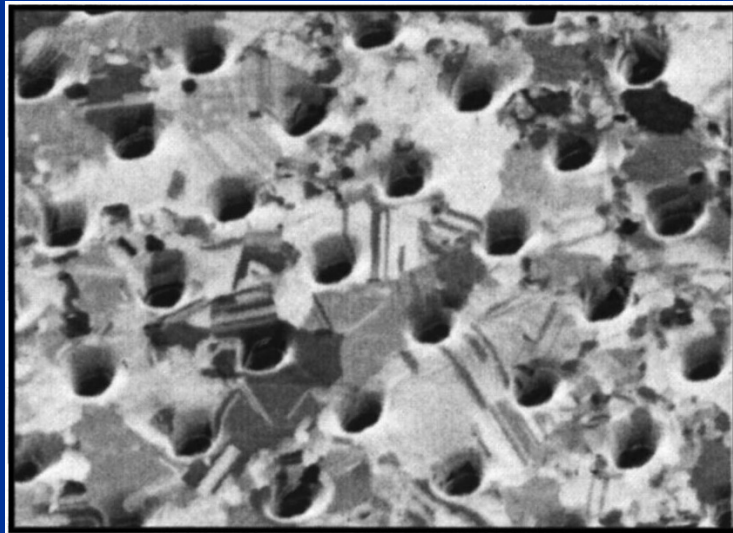


A partir de una serie de marcas se puede producir un efecto de espejo.

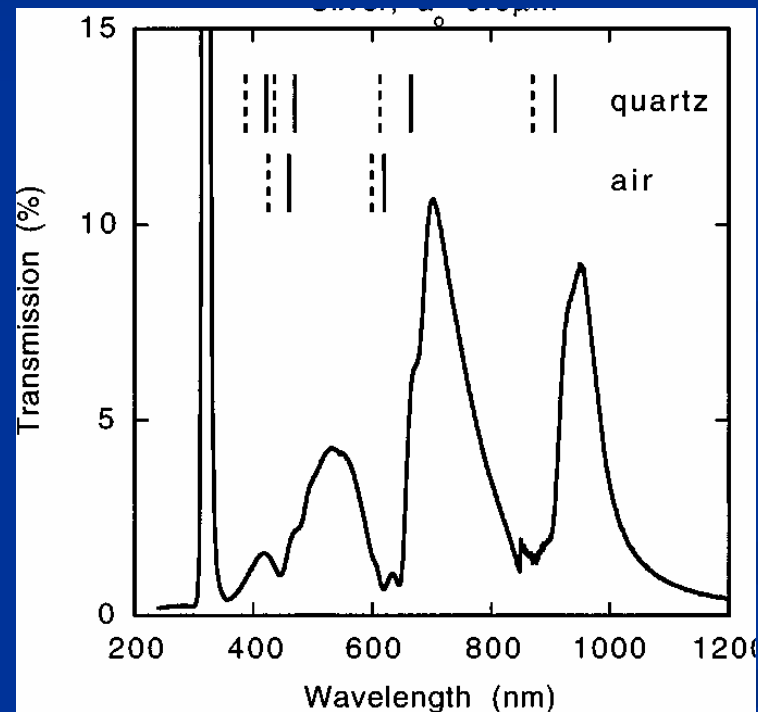
# Arreglo de huecos

## - Aumento de la transmisión de un arreglo de huecos.

(Ghaemi, H. F., Thio, T., Grupp, D. E., Ebbesen, T. W. & Lezec, H. J. Surface plasmons enhance optical transmission through subwavelength holes. Phys. Rev. B 58, 6779–6782 (1998))



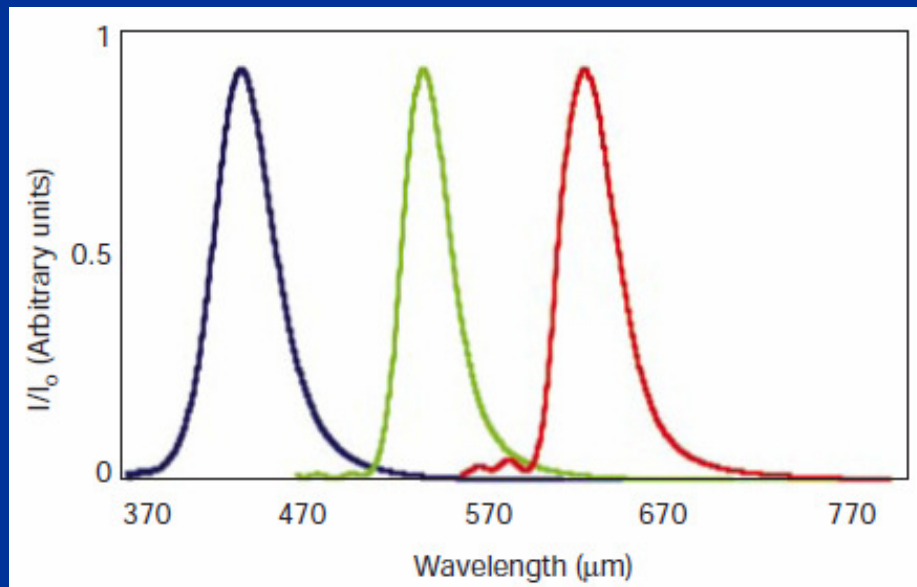
Período 900 nm  
diametro 150 nm  
Espesor 200nm



Se obtiene una transmisión mucho mayor que lo esperado a partir de la teoría de difracción

# Arreglo de huecos

- Se puede modificar el espectro de salida utilizando distintos arreglos



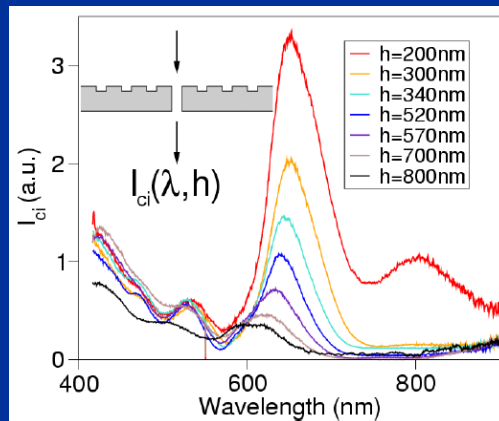
$$\lambda_{\max} \sqrt{i^2 + j^2} \approx a_0 \sqrt{\frac{\epsilon_m \epsilon_d}{\epsilon_m + \epsilon_d}}$$

Variando el período de la red se pueden transmitir distintas longitudes de onda

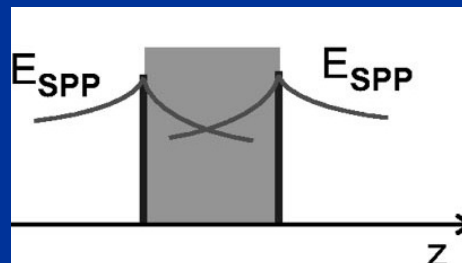
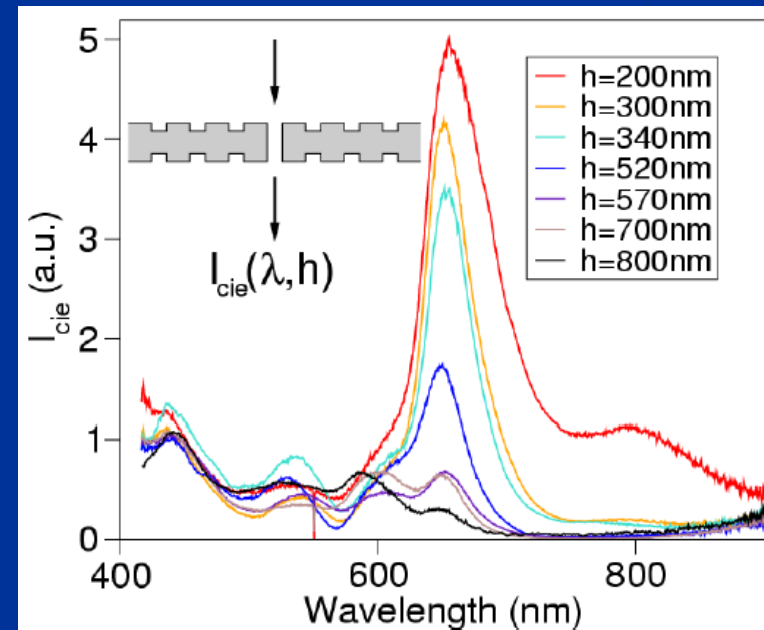
# Arreglo de huecos

- A partir de series de arreglos se puede intensificar aún mas.

(Degiron, A., Lezec, H. J., Barnes, W. L. & Ebbesen, T. W. Effects of hole depth on enhanced light transmission through subwavelength hole arrays. *Appl. Phys. Lett.* **81**, 4327–4329 (2002))



Se produce una intensificación



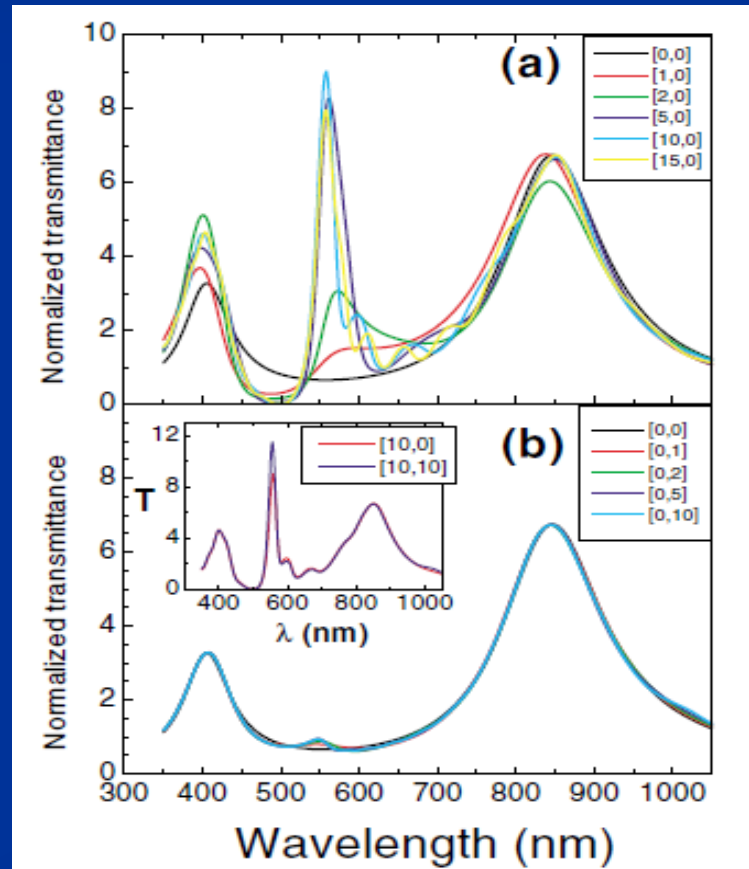
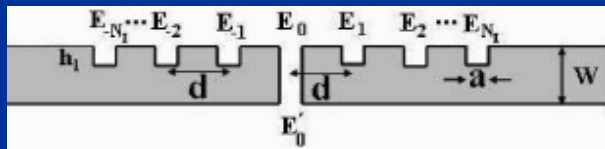
La intensificación es mayor debido al acoplamiento entre las dos SPs



# Aperturas individuales

- Aumento de la transmisión utilizando una apertura rodeada por una estructura periódica

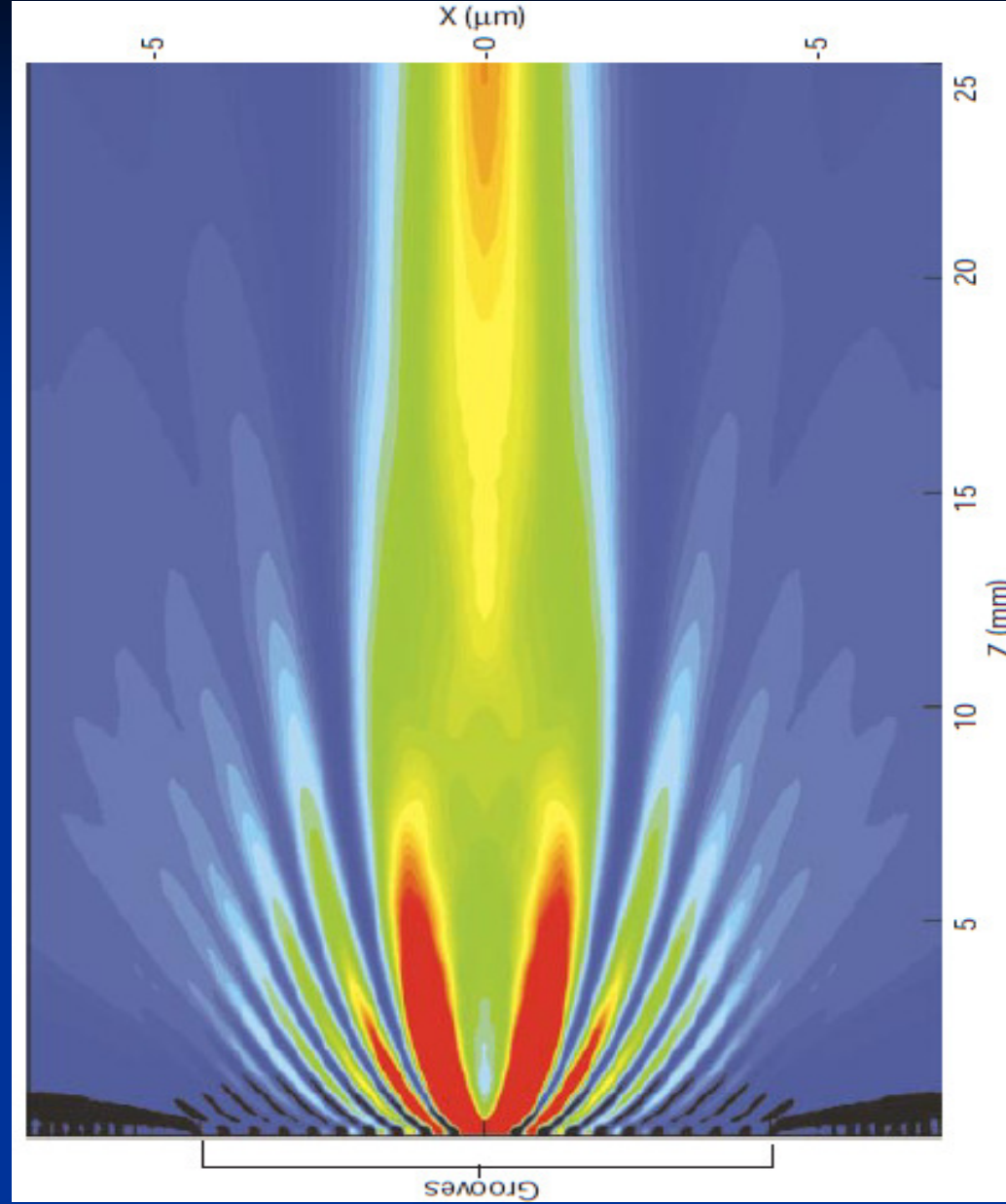
(García-Vidal, F. J., Lezec, H. J., Ebbesen, T. W. & Martín-Moreno, L. Multiple paths to enhance optical transmission through a single subwavelength slit. Phys. Rev. Lett. 90, 213901 (2003))



Input configuration

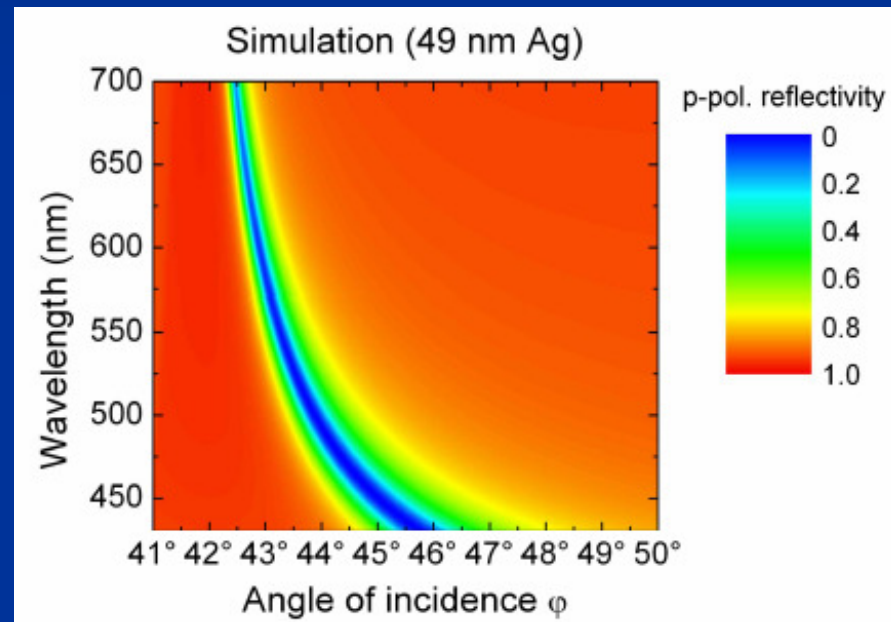
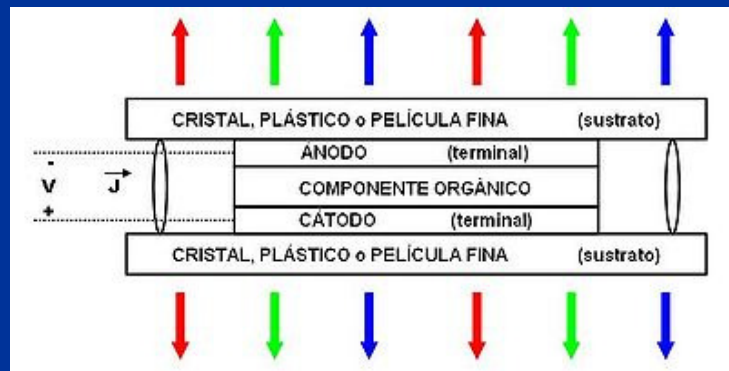
Output configuration

# Intensificación usando una apertura



# Perspectivas

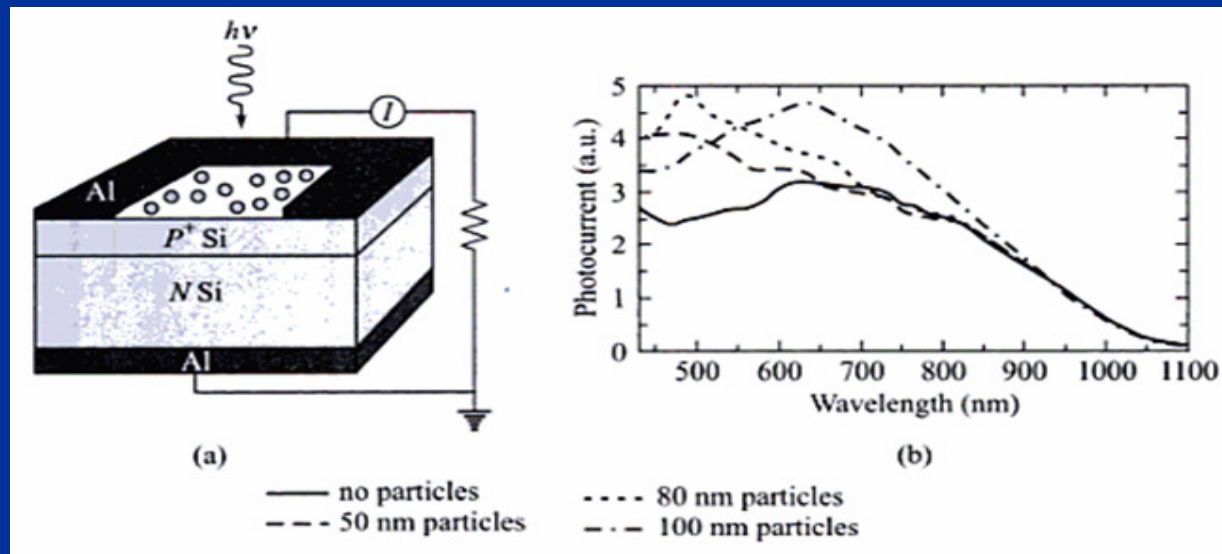
- Organic light emitting diode: Parte de la potencia se pierde en los modos SPs disminuyendo la eficiencia.



Surface plasmon resonance sensor utilizing an integrated organic light emitting diode Jörg Frischeisen, Christian Mayr, Nils A. Reinke, Stefan Nowy, Wolfgang Brütting. 27 October 2008 / Vol. 16, No. 22 / OPTICS EXPRESS 18426

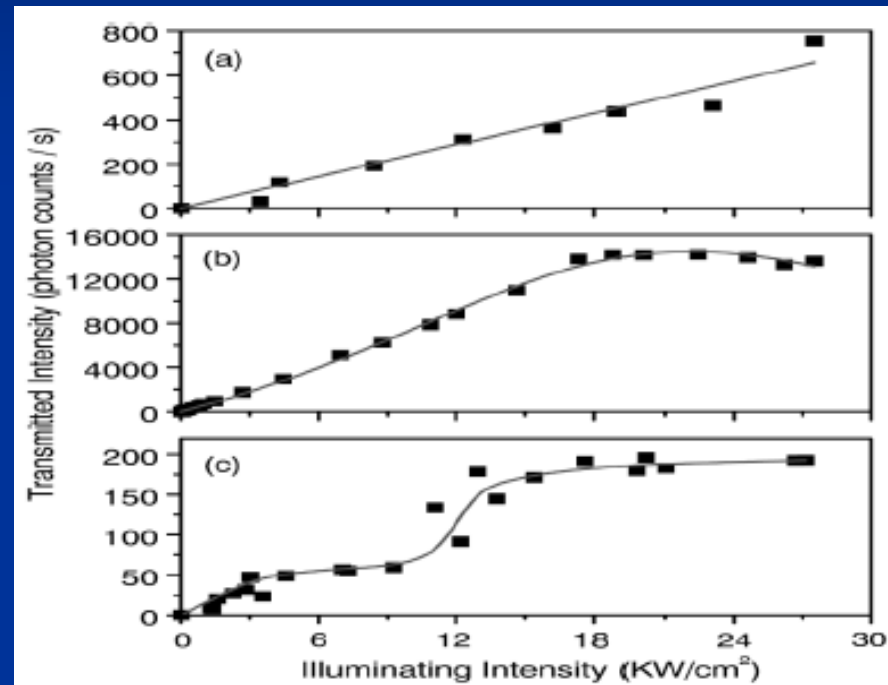
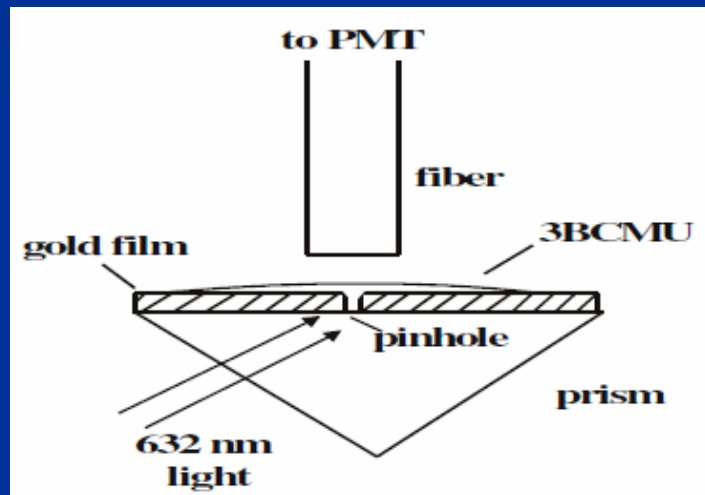
# Perspectivas

- Celdas solares utilizando SPs: busca aumentar la absorción a partir de nanopartículas de plata. Se encontró que SPs aumentan el espectro de absorción de las celdas solares.



# Perspectivas

- Efectos no lineales



Smolyaninov, I. I., Zayats, A. V., Gungor, A. & Davis, C. C. Single-photon tunneling via localized surface plasmons. Phys. Rev. Lett. 88, 187402 (2002)