

# Guiando energía por debajo del límite de difracción

## Guía de ondas plasmónicas de nano-partículas

Resumen de:

**Local detection of electromagnetic energy transport below the diffraction limit  
in metal nanoparticle plasmon waveguides**  
*S.A. Maier, Pieter G. Kik, H.A. Atwater, S. Meltzer, E. Harel, B.E. Koel & Ari A.G. Requicha*  
**Nature Materials 2 (2003) 229-232**

Presentación para la materia Nano-óptica

*Víctor A. Bettachini*

28 de Octubre de 2010

# ¿Por que el interés?

IEEE Communications Magazine • June 2010

## PLASMONICS FOR INTERCONNECTS

nanoelectronics. Initially, plasmonics was mainly focused on passive routing of light in waveguides with dimensions much smaller than the wavelength of the light. However, as the propagation length in such high-confinement SPP waveguides is limited to a few tens of micrometers, they have not been considered as a better substitute for high-index dielectric waveguides. It is important to note that the size of dielectric waveguides is limited by the fundamental laws of diffraction, which are orders of magnitude larger than the electronic devices on a chip. Plasmonic devices and their sub-wavelength dimensions are uniquely capable of reconciling this mismatch in size, bridging dielectric microphotronics and nanoelectronics. Plasmonic devices such as nanoscale lasers, modulators, and detectors offer the potential to generate, modulate, and detect optical signals while transporting them at the speed of photons through the same thin metal circuitry.



## Circuitos que transporten “luz”

Guiar energía con confinamiento lateral por debajo del límite de difracción de la luz  
→ circuitos ópticos.

### Antes de este paper

- Simulaciones numéricas indicaron que era posible.
- Se habían observado las excitaciones colectivas.
- No había evidencia directa de transporte a través de las guías de ondas plasmónicas.

### Este trabajo

- Observación de transporte: desde una fuente sub- $\lambda$  hasta un detector a una distancia de  $\approx 0,5 \mu\text{m}$  a través de una guía de onda conformada por barras de Ag densamente espaciadas.
- La excitación se realiza a través de una punta de SNOM, y el sentido con nano-esferas fluorescentes.

- En régimen de  $\mu$ -ondas: Observación de acoplamiento de campo cercano entre modos plasmón superficial-polaritón de nano-partículas metálicas adyacentes
- Simulaciones numéricas en régimen sub- $\mu\text{m}$ : es posible el transporte en guías plasmónicas de nano-partículas
- Arreglos 2D nano-partículas de Au o Ag: espectroscopía de campo lejano confirmaron interacciones (sub- $\mu\text{m}$ )
- Arreglos 1D de Au:  $\Delta E_{\text{resonancia}} \Rightarrow$  permitió estimar  $\omega = \omega k$  y longitud de atenuación ( $\approx 6\text{dB}$  cada  $30\text{nm}$ )
- i.e. de esferoides de Ag: atenuación  $\approx 6\text{dB}$  cada  $250\text{nm}$ , suficiente para detectar transporte a través de excitación local.

## Arreglo 1D: cada guía



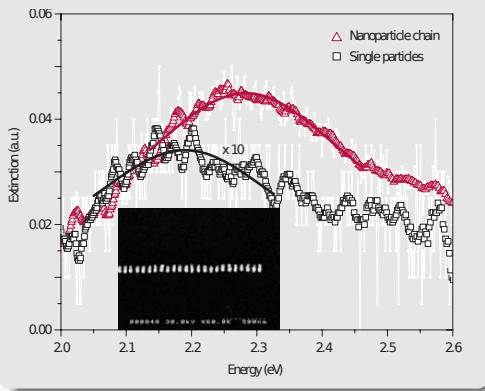
- Barras Ag ( $90 \times 30 \times 30 \text{ nm}$ ) cada 50nm
- Fabricadas mediante lift-off: litografía con haz de  $e^-$  + deposición + limpiado
- sustrato sobre cuarzo recubierto ITO
- Eje largo barra  $\perp$  eje guía  $\Rightarrow \uparrow$  acople

## Arreglo 2D

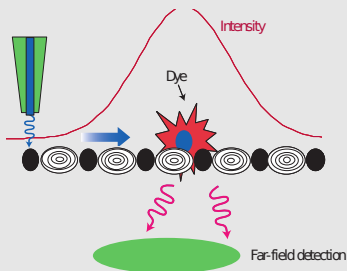


- Red ( $a_0 = 1 \mu\text{m}$ ) de  $100 \times 100$  guías
- Despreciable interacción entre guías
- $\uparrow$  SNR espectrometría de campo lejano  $\Rightarrow$  sensado resonancia de las guías

# Excitación: partículas únicas vs guías de onda



- Luz blanca, polarizada  $\perp$  guía de ondas  $\Rightarrow$  excitación colectiva
- $\Delta$  pico de resonancia  $\sim 100$  MeV partículas únicas / red de guías
- Simulaciones numéricas del transporte: atenuación 6dB en 200nm (max)

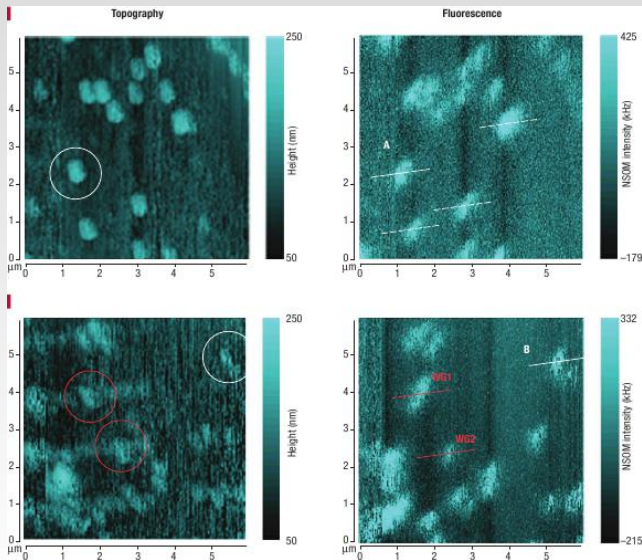


### Detección de transporte de energía

- 1 punta de SNOM → resonancia partícula
  - 2 la excitación se propaga por la guía
  - 3 alcanza la esfera fluorescente
- Excitación local: punta SNOM 570nm
  - Sensores: nano-esfera de poliestireno rellenas de moléculas fluorescentes ( $\varnothing \simeq 110\text{nm}$ ) emisión 610nm (max)

Observación de ensanchamiento del foco luminoso de la nano-esfera adosada a la guía respecto a la de una nano-esfera libre.

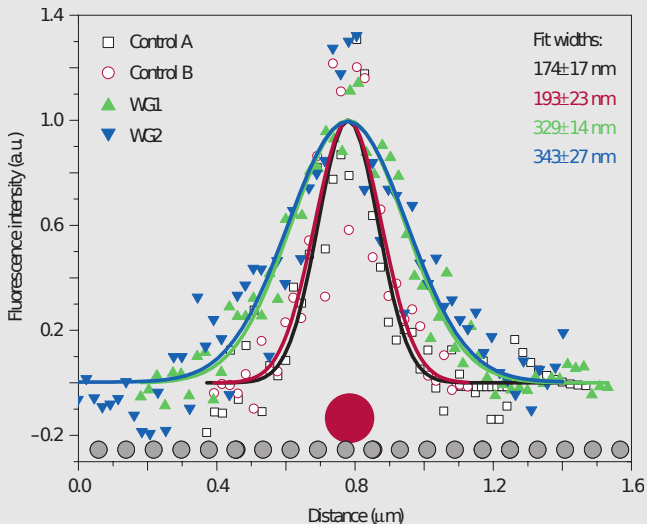
# topografía y SNOM de nano-esferas libres y adosadas a guías



- Barrido SNOM a distancia constante
- Círculos grises: nano-esferas libres
- rojos: adosadas a guías
- En próxima gráfica: cortes || guías



# Comparación focos de nano-esferas libres y adosadas a guías



- Ajustes Gaussianos de cortes  $\parallel$  guías
- Ensanchamiento promedio (FWHM):  $151 \pm 48\text{nm}$
- Ensanchamiento  $\perp$  guías: despreciable  $\Rightarrow$  evidencia de transporte

### **Fluorescencia distinguible del ruido, distancia de la punta**

nano-esfera libre: 200nm

nano-esfera adosada: 500nm

### **Longitud de decaimiento, de ajuste $> 200\text{nm}$ de la nano-esfera (excitación a través de la guía domina sobre la excitación directa)**

6dB en  $195 \pm 28\text{nm}$

Buen acuerdo con la predicción de la teoría: 200nm

### **Para resumir**

El guiado de luz por debajo del límite de difracción es posible.  
Pero hoy día el alcance es insuficiente para uso industrial.