

Electromagnetismo Aplicado:

I. Principios de Teoría Electromagnética y Propiedades de Medios Materiales

F.P. Mena

Primavera 2011

I. Teoría E.M. y Materiales

- Ecuaciones de Maxwell
- Materiales
 - Conductores
 - Dieléctricos
 - Materiales magnéticos.
- Condiciones de frontera
- Funciones de potenciales
- Ecuaciones diferenciales para potenciales.

1. Ecuaciones de Maxwell

- Ley de Gauss: **Existencia de cargas eléctricas**

$$\oint_S \mathcal{D} \cdot d\mathbf{a} = \int_V \rho \, dv \qquad \nabla \cdot \mathcal{D} = \rho$$

- Ley de Gauss magnética: **Ausencia de cargas magnéticas**

$$\oint_S \mathcal{B} \cdot d\mathbf{a} = 0 \qquad \nabla \cdot \mathcal{B} = 0$$

- Ley de Faraday: **Un campo magnético variable induce un campo eléctrico**

$$\oint_C \mathcal{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{a} \qquad \nabla \times \mathcal{E} = - \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t}$$

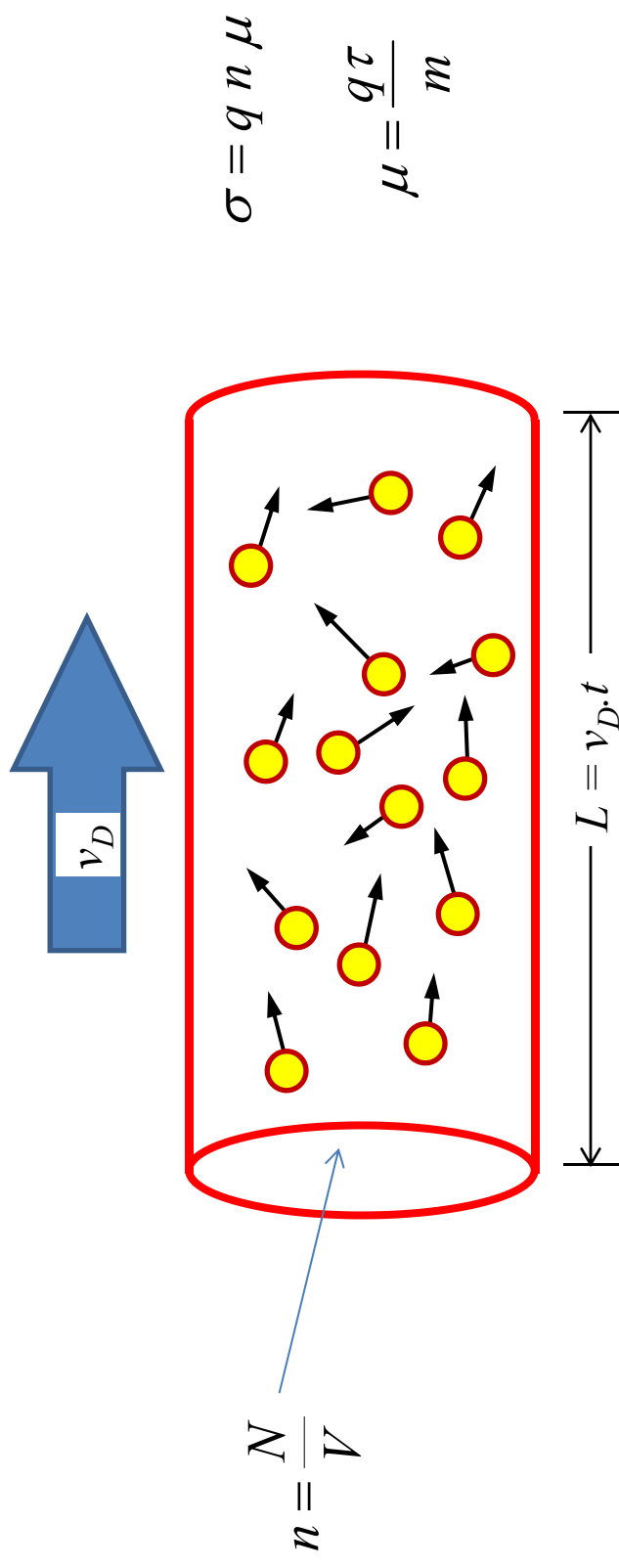
1. Ecuaciones de Maxwell

- Ecuaciones de Maxwell en campos variables

Ley	Integral	Diferencial
Faraday:	$\oint_C \mathcal{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{a}$	$\nabla \times \mathcal{E} = - \frac{\partial \mathcal{B}}{\partial t}$
Ampère:	$\oint_C \mathcal{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \mathcal{I}_f \cdot d\mathbf{a} + \frac{d}{dt} \int_S \mathcal{D} \cdot d\mathbf{a}$	$\nabla \times \mathcal{H} = \mathcal{I}_f + \frac{\partial \mathcal{D}}{\partial t}$
Gauss:	$\oint_S \mathcal{D} \cdot d\mathbf{a} = \int_V \rho \, dv$	$\nabla \cdot \mathcal{D} = \rho$
Gauss – mag.:	$\oint_S \mathcal{B} \cdot d\mathbf{a} = 0$	$\nabla \cdot \mathcal{B} = 0$

2. Materiales

- Los portadores no se mueven libremente, se dispersan.
- La conductividad tiene un origen microscópico.



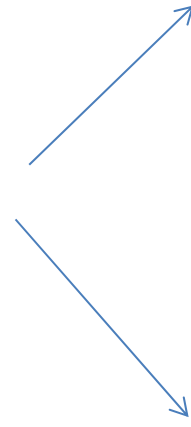
2.3 Conductores

- Parámetros esenciales:
 - Conductividad (resistencia)
 - Ley de Ohm
 - Densidad de portadores y movilidad

PREGUNTA: ¿Cómo estimar la densidad de portadores en un metal?

2.3 Conductores

- Regla de Mathessien (suma de dispersiones)

$$\rho = \rho_{\text{red cristalina}}(T) + \rho_{\text{defectos}}(N)$$


$\rho_{\text{electrones}}(T)$	$\rho_{\text{fonones}}(T)$
cuadrática	lineal

2.3 Conductores

- Propiedades mecánicas y químicas
 - *Peso (densidad)*
 - *Resistencia mecánica*
 - *Resistencia a la corrosión*
 - *Precio*
 - *Compatibilidad con otros materiales*
 - *Etc.*

2.3 Conductores

- Figuras de mérito:
 - Un factor (arbitrario) que ayuda a determinar que material es adecuado para una determinada aplicación

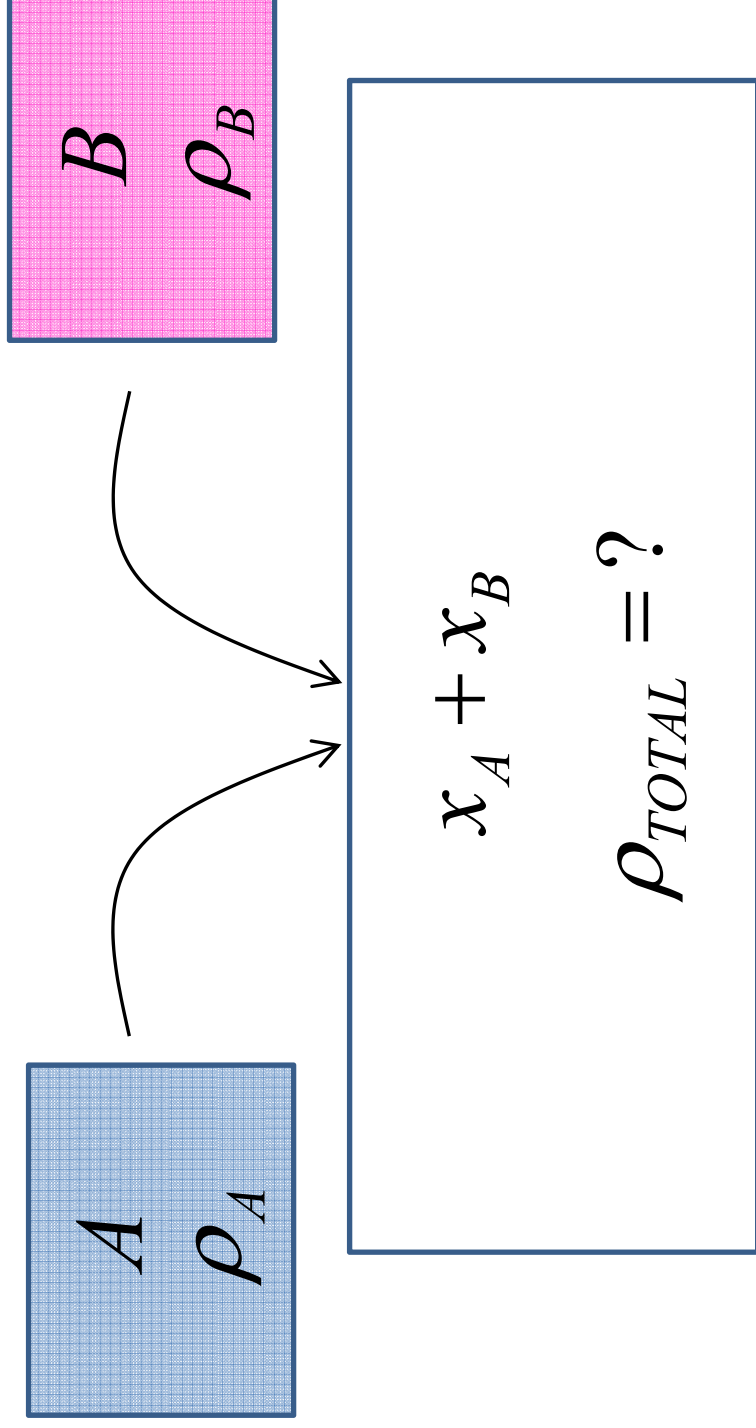
EJEMPLO: Se necesita un metal liviano para hacer contactos

$$F = \text{conductividad} \quad \longrightarrow \quad F = \frac{\text{conductividad}}{\text{peso}} \quad \longrightarrow \quad F = \frac{\text{conductividad}}{\text{densidad}}$$

PREGUNTA: ¿Qué tal si necesito tomar en cuenta el precio?

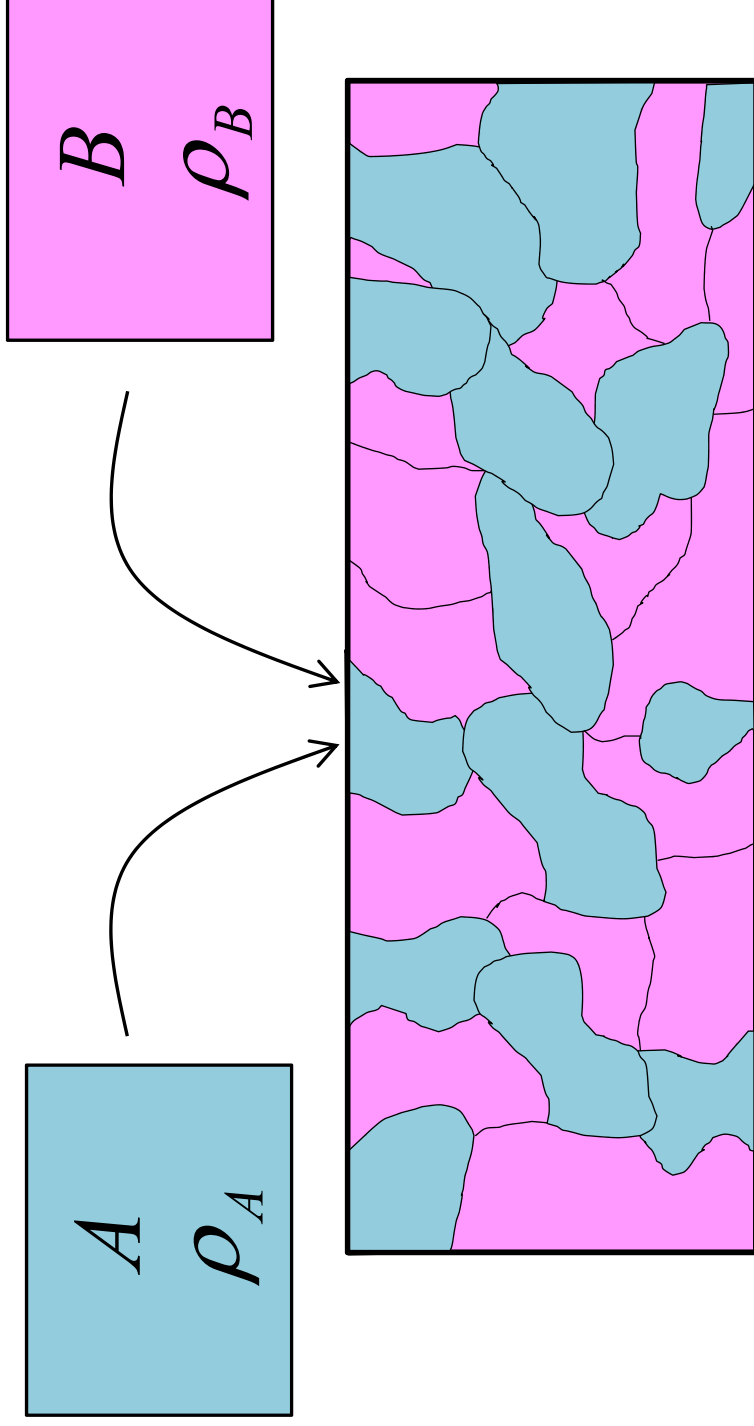
2.3 Conductores - Aleaciones

- Aleaciones
 - Mezcla de 2 metales



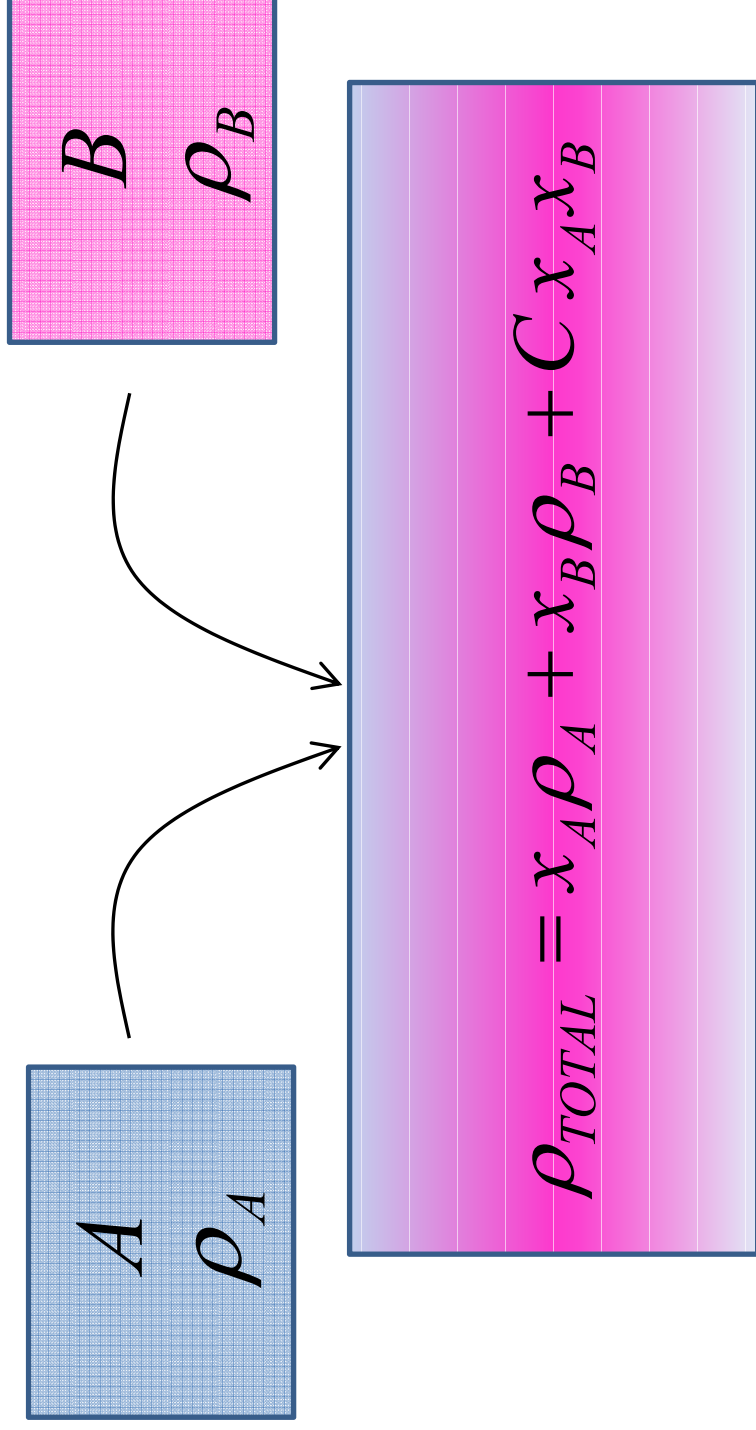
2.3 Conductores - Aleaciones

- Aleaciones
 - Completamente inmiscibles (se forman regiones)



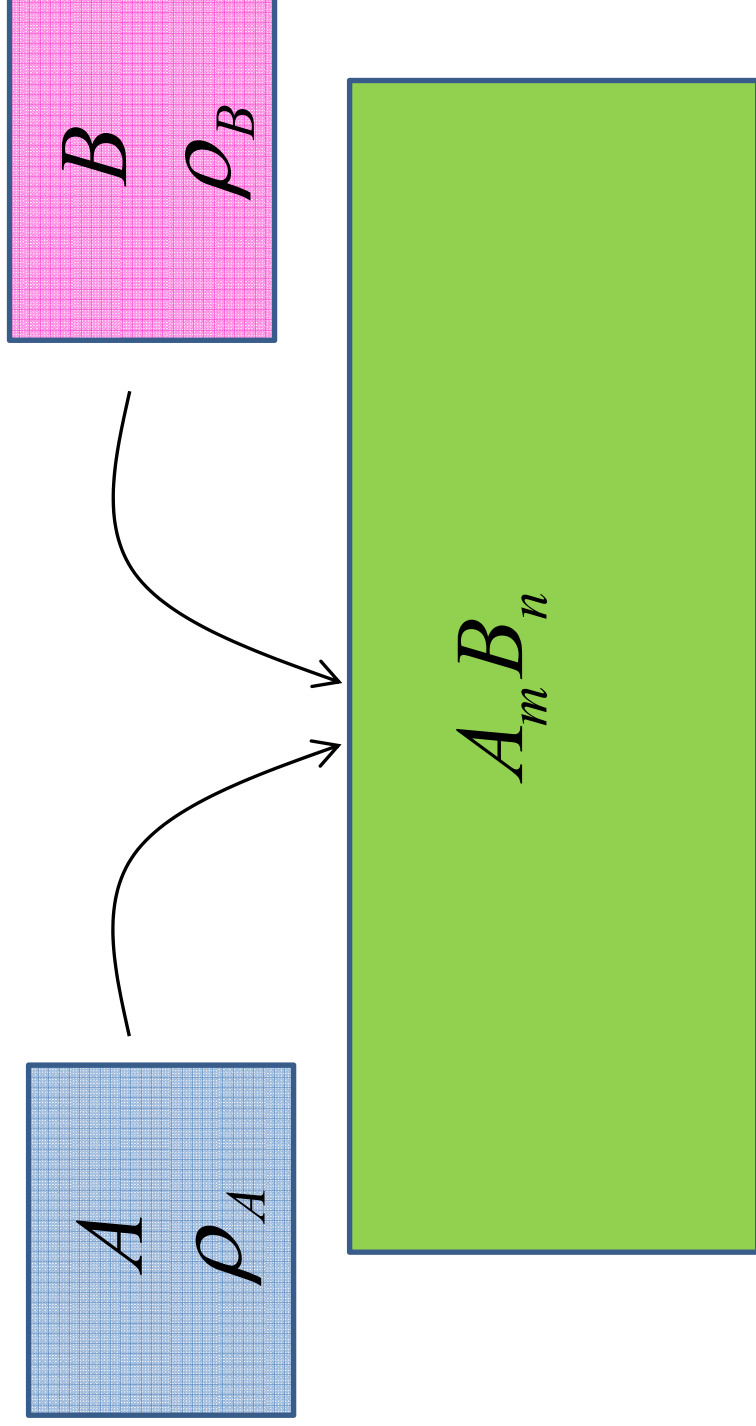
2.3 Conductores - Aleaciones

- Aleaciones
 - Completamente miscibles (se mezclan como 2 líquidos, no nuevas estructuras cristalinas)



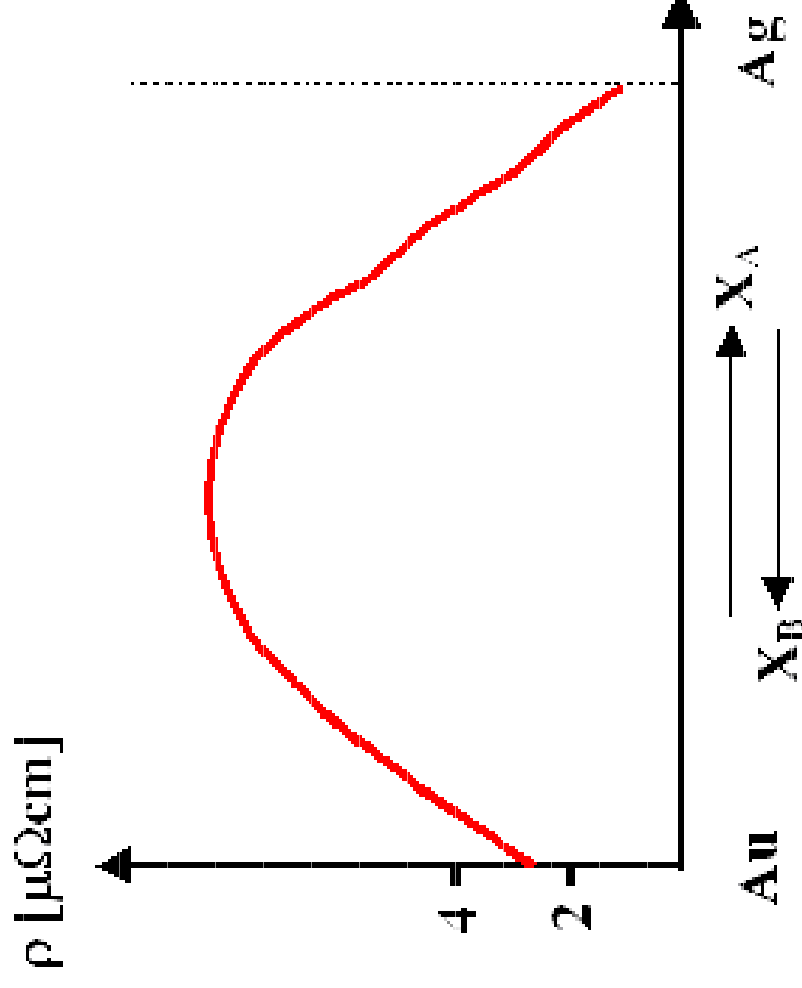
2.3 Conductores - Aleaciones

- Aleaciones
 - Intermetálicos (forman nuevas estructuras cristalinas)



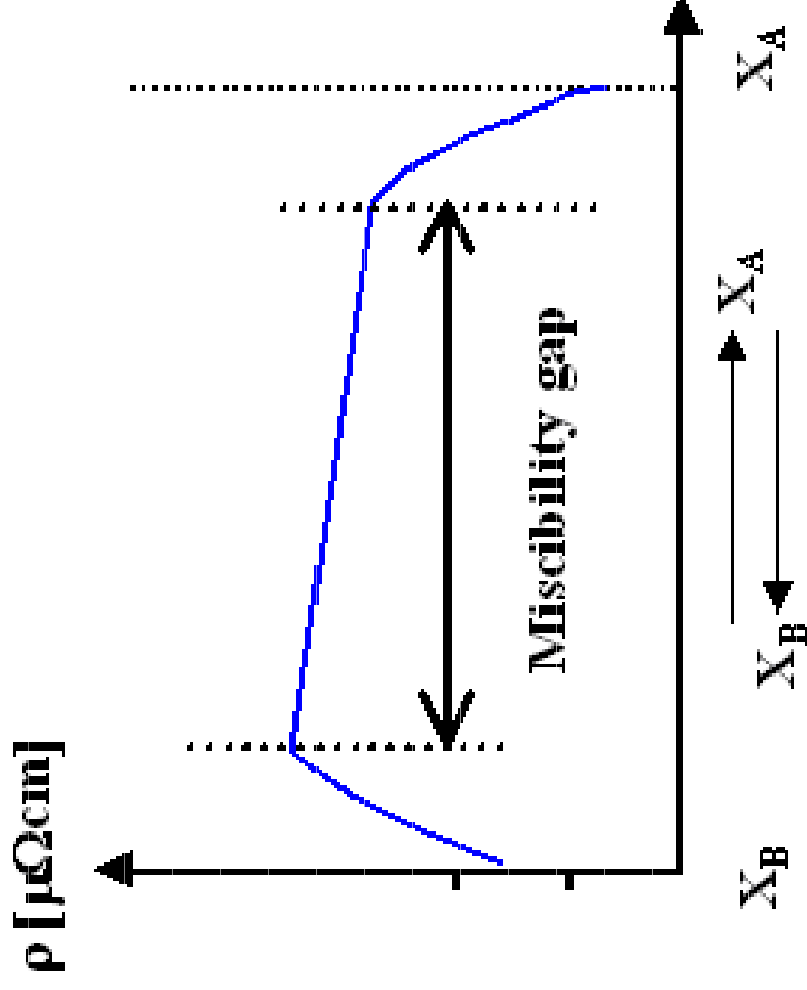
2.3 Conductores - Aleaciones

- Ejemplos de resistividades en aleaciones
 - Miscibilidad completa (**Au/Ag**)



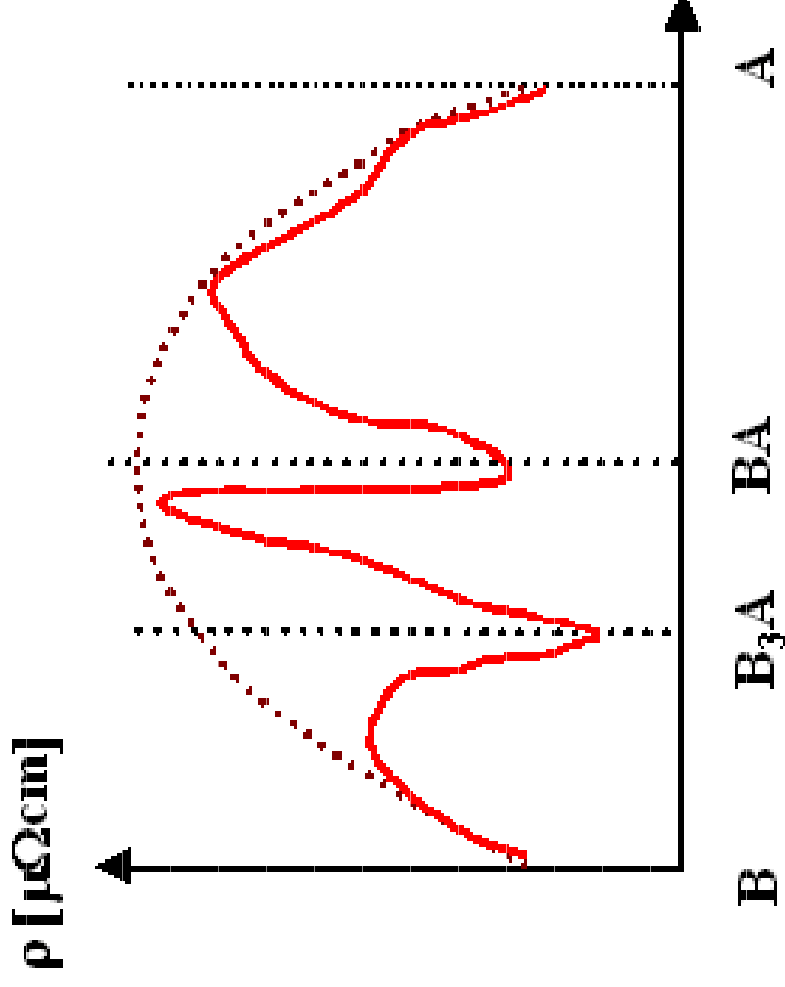
2.3 Conductores - Aleaciones

- Ejemplos de resistividades en aleaciones
 - Rango de miscibilidad (**Ag/Cu**)



2.3 Conductores - Aleaciones

- Ejemplos de resistividades en aleaciones
 - Fases intermetálicas (**Au**/**Cu**)



2.3 2.3 Conductores - No Metálicos

- Polímeros conductores
 - Polímeros dopados con componentes iónicos.
 - $\rho \sim 10 - 1000 \mu\Omega.cm$
 - ρ fuertemente dependiente del dopaje
 - Flexibles y livianos

2.3 2.3 Conductores - No Metálicos

- Conductores transparentes
 - Indium Tin Oxide: SnO_2 dopado con In_2O_3
 - $\rho \sim 1 \Omega.\text{cm}$
 - Aplicaciones:
 - Pantallas planas
 - Celdas solares
 - Investigación (e.g. mediciones eléctricas de fenómenos inducidos por luz).

2.3 Conductores - Aplicaciones

- Conductores normales
 - Muchísimas aplicaciones
 - Alambres de unión para CIs ($\phi < 30\mu\text{m}$).
 - Metalización en chips.
 - Apantallamiento de campos magnéticos y eléctricos.
 - Contrarrestar cargas electrostáticas.
 - Antenas

2.3 Conductores - Aplicaciones

- Conductores normales
 - Consideraciones
 - *Precio*
 - *Química* (estabilidad y reactividad; corrosión).
 - *Propiedades mecánicas* (metales puros son muy blandos).
 - *Propiedades térmicas* (estabilidad con T) .
 - *Compatibilidad con otros materiales* (corrosión por contacto, soldadura, compatibilidad con Si)
 - *Compatibilidad con tecnologías de producción*

2.3 Condutores - Aplicaciones

- Contactos
 - Aplicaciones
 - *Interruptores*
 - *Conectores*
 - *Conexiones a partes removibles*
 - *Pantógrafo*
 - *Escobillas*

2.3 Conductores - Aplicaciones

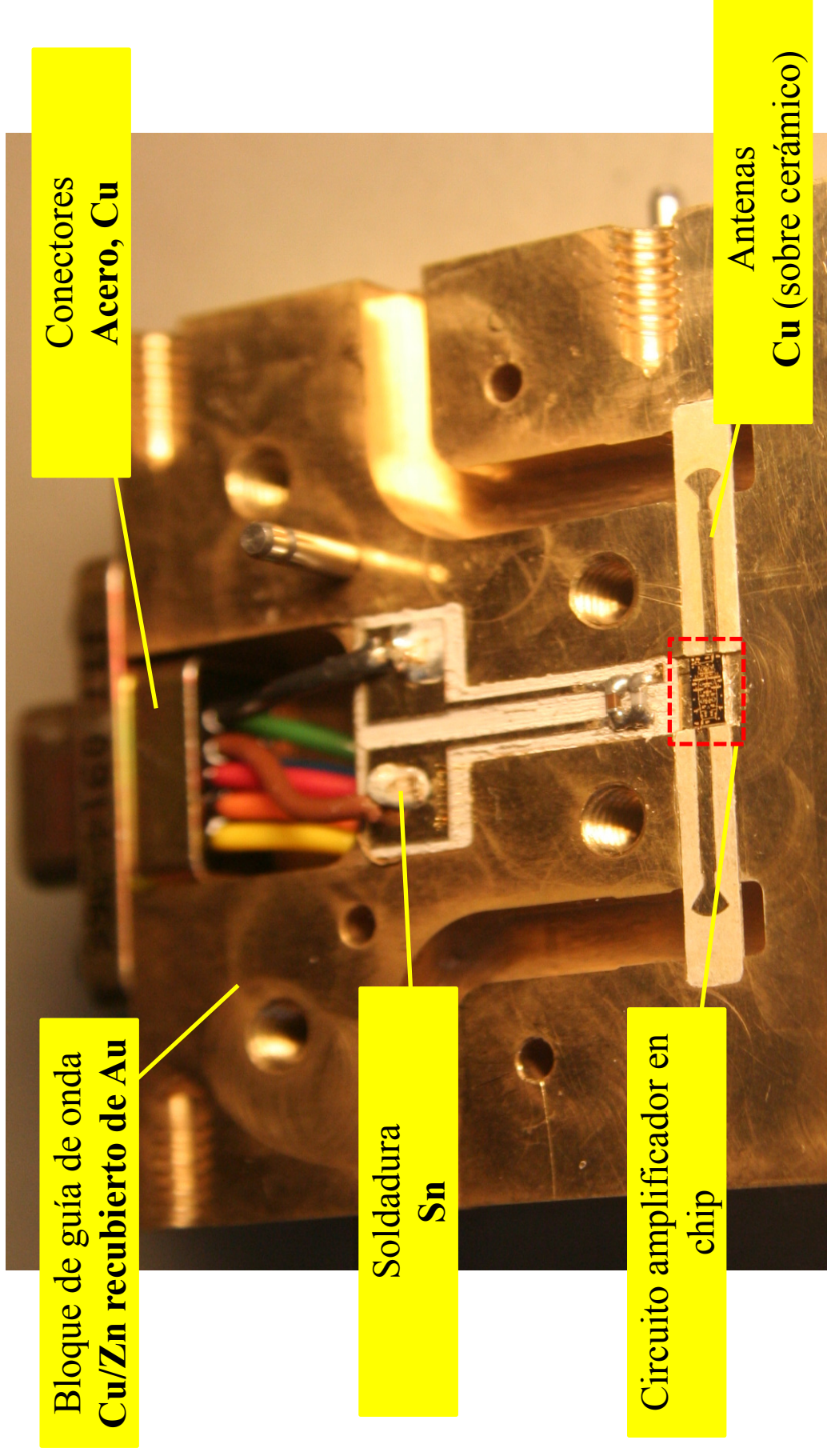
- Contactos
 - Consideraciones
 - *Poca resistencia por contacto.*
 - *No soldadura o pegado bajo carga.*
 - *No abrasión bajo carga.*
 - *No mezclado de materiales*
 - *No desgastamiento*
 - *Propiedades mecánicas adecuadas, e.g. buena elasticidad en interruptores*

2.3 Conductores - Aplicaciones

- Contactos
 - Materiales
 - C (grafito) para pantografos (conducción de altas corrientes)
 - Cu, Ag, Au.
 - Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt.
 - Mo, W.

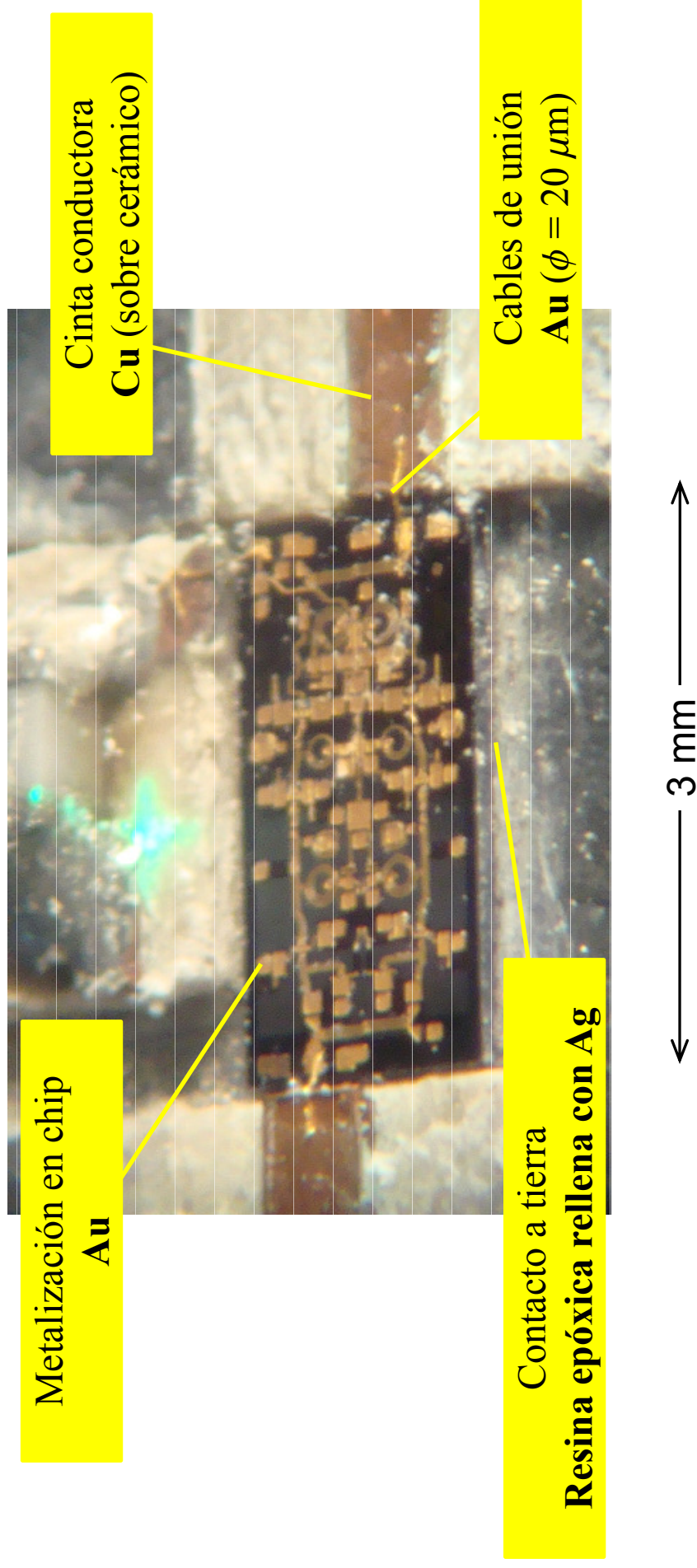
2.3 Conductores - Aplicaciones

- Microondas: Amplificador 30-41 GHz (memoria 2010)



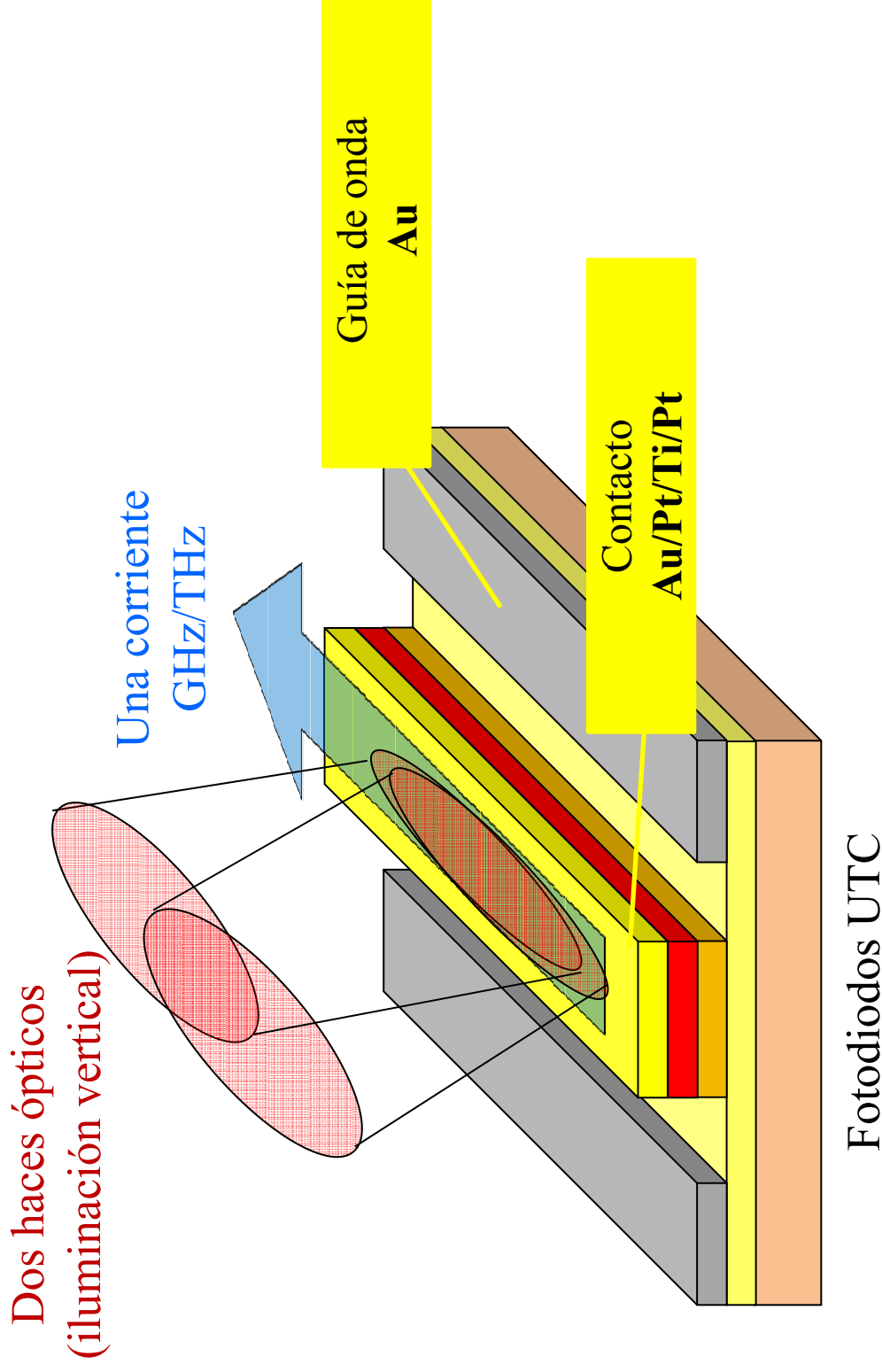
2.3 Conductores - Aplicaciones

- Microondas: Amplificador 30-41 GHz



2.3 Conductores - Aplicaciones

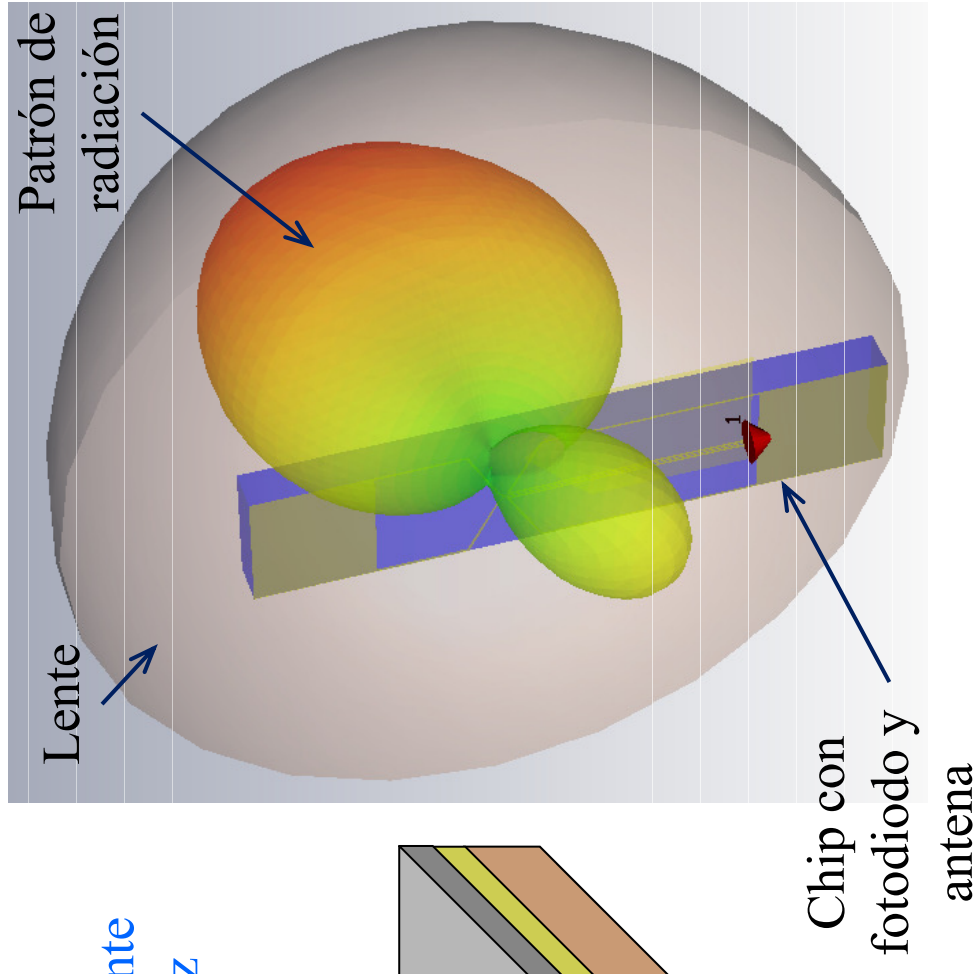
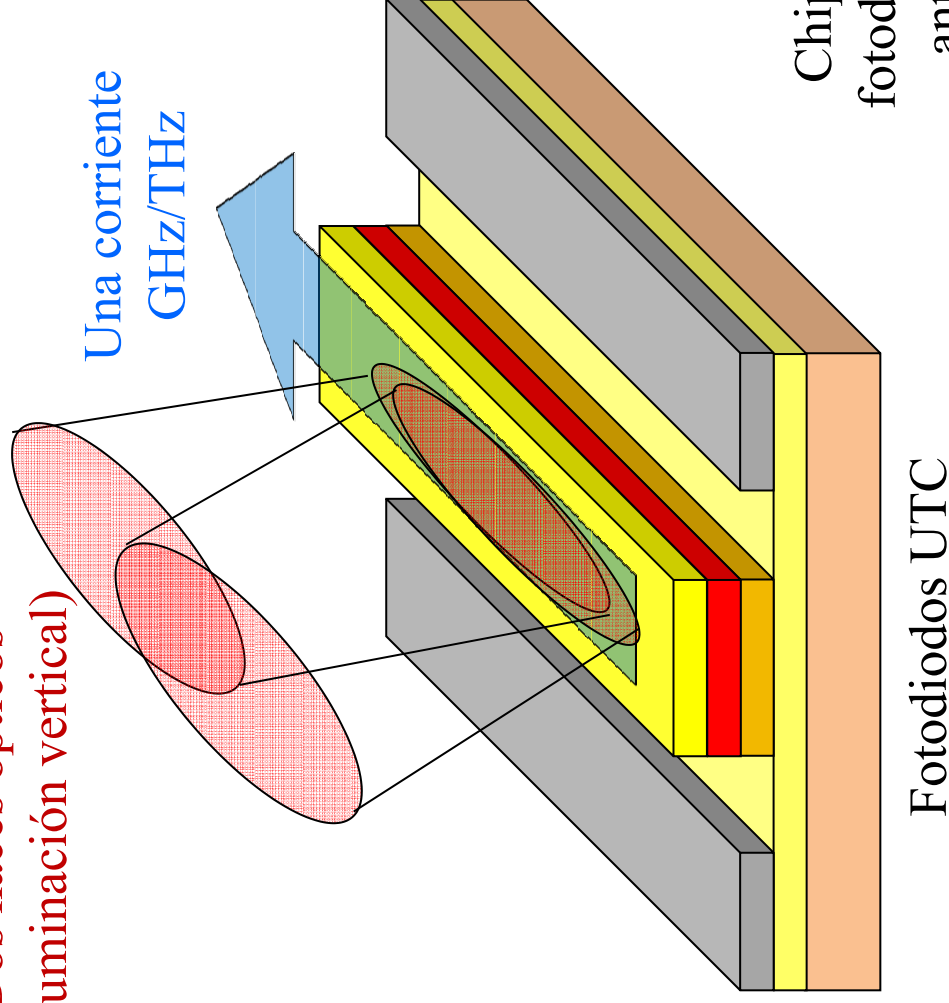
- Fotónica: Microdispositivo para generar ondas THz



2.3 Conductores - Aplicaciones

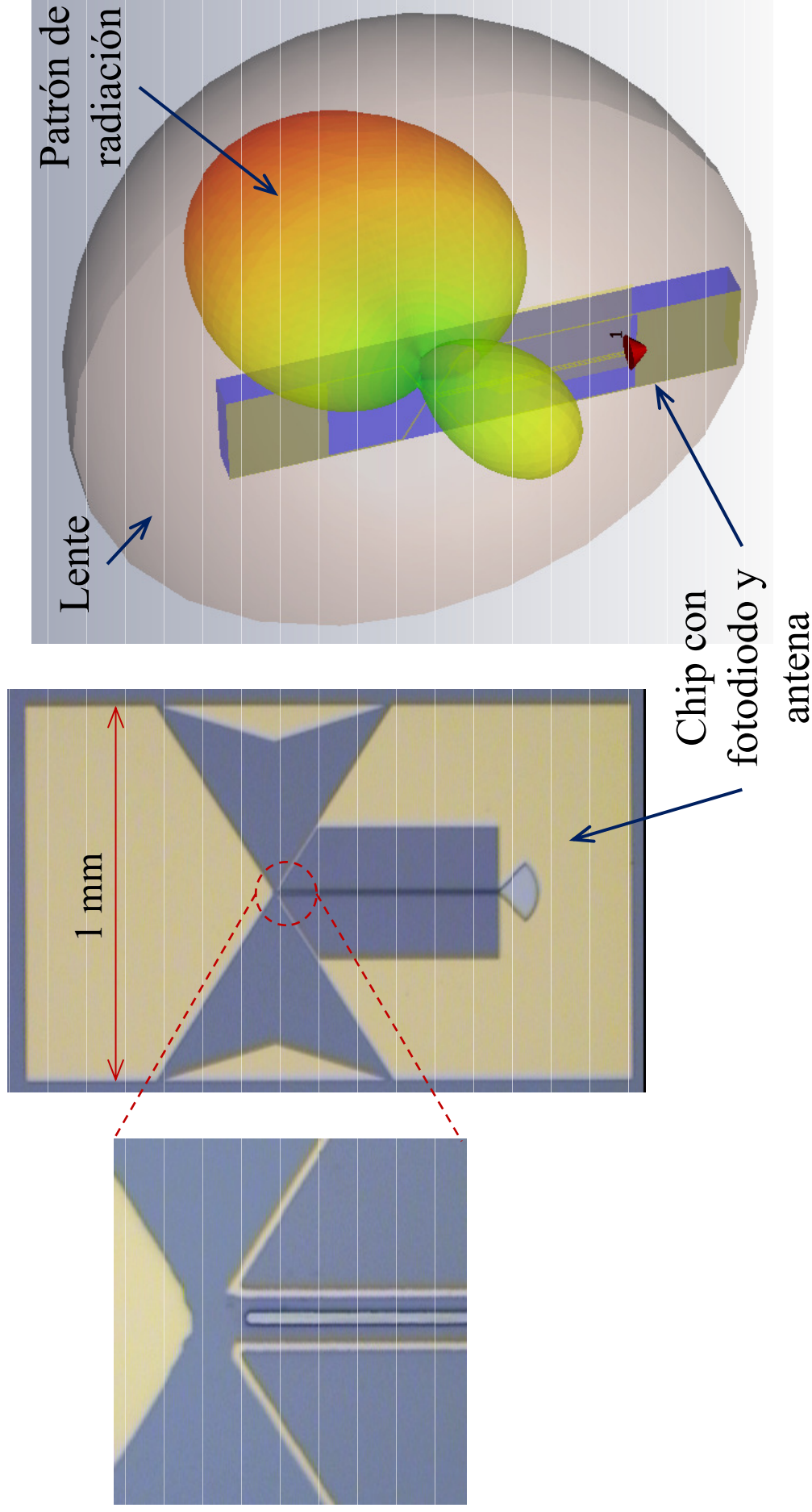
- Fotónica: Microdispositivo para generar ondas THz

Dos haces ópticos
(iluminación vertical)



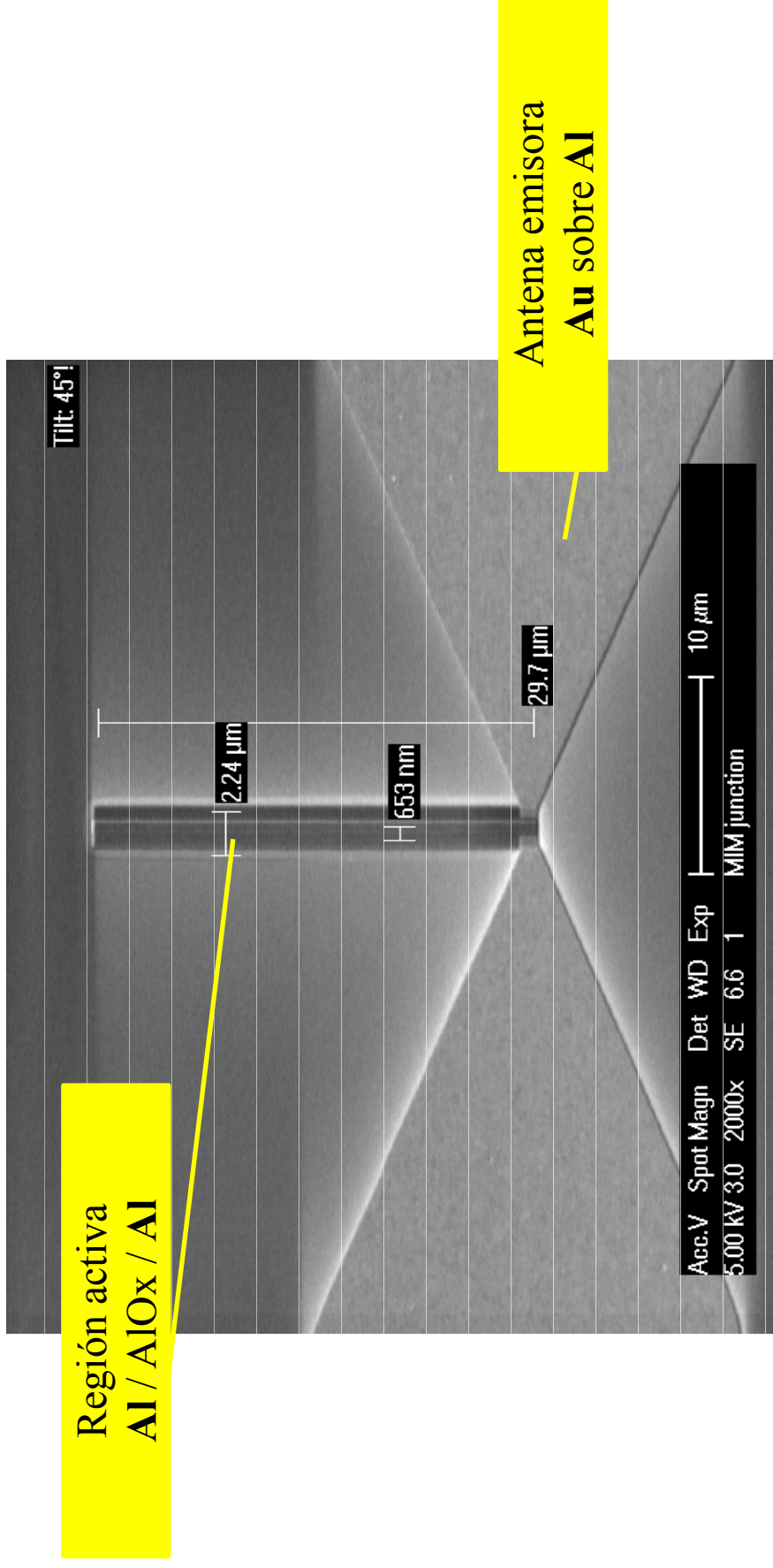
2.3 Conductores - Aplicaciones

- Fotónica: Microdispositivo para generar ondas THz



2.3 Conductores - Aplicaciones

- Fotónica: Microdispositivo para generar ondas THz



Moraleja del Día

- Para aplicaciones electrónicas
 - Conductividad y movilidad
 - *Peso (densidad)*
 - *Resistencia mecánica*
 - *Resistencia a la corrosión*
 - *Precio*
 - *Compatibilidad con otros materiales*

Moraleja del Día

- Sitios útiles:
 - http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/elmat_en/index.html