

Tipos de Láser



A. Guzmán

angela.guzman@creol.ucf.edu



CREOL | The College of Optics & Photonics
UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA

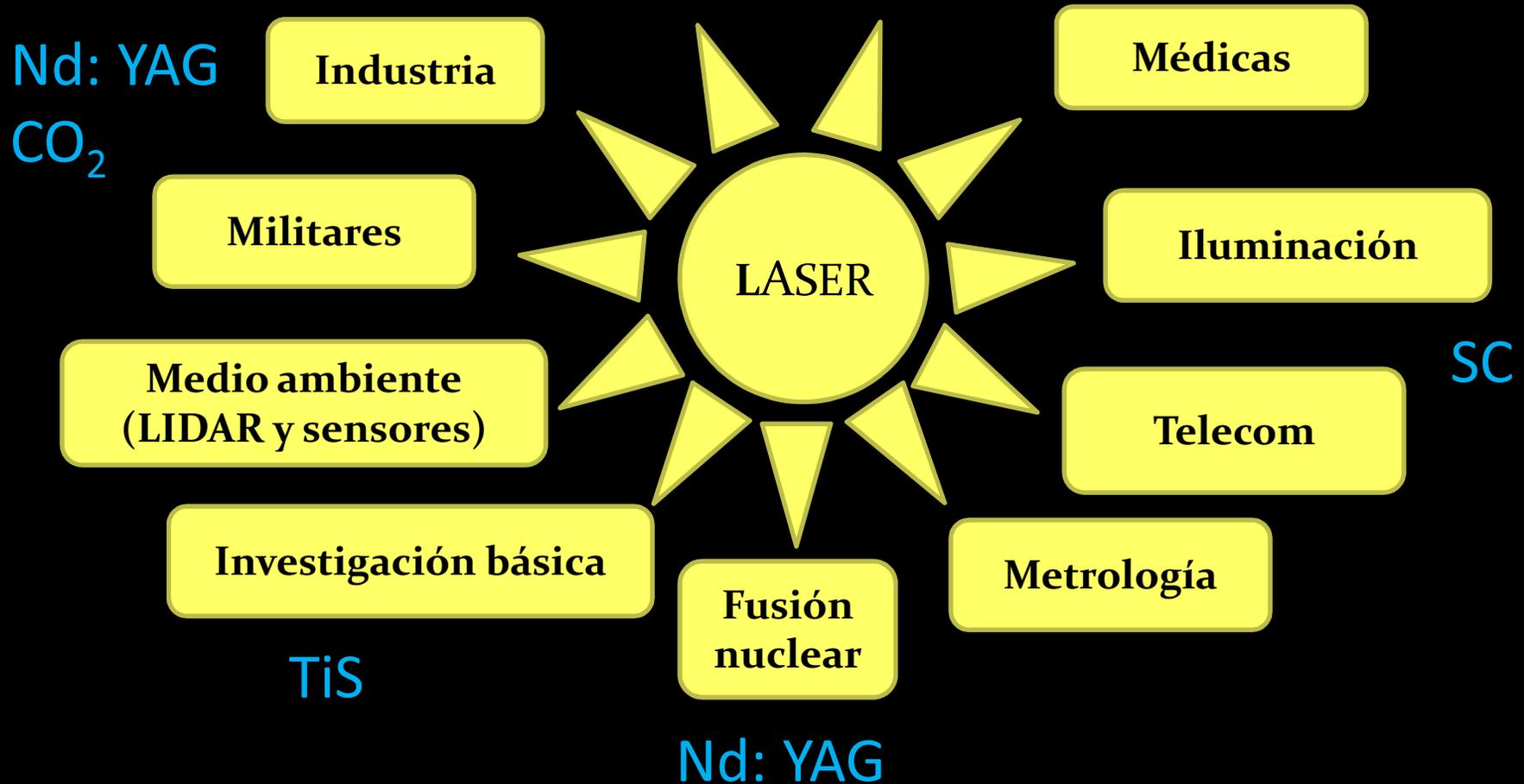


IV- Tipos de láseres

- Láseres gaseosos
- Láseres de estado sólido
- Láseres de semiconductor
- Láser de electrones libres



Aplicaciones de los láseres

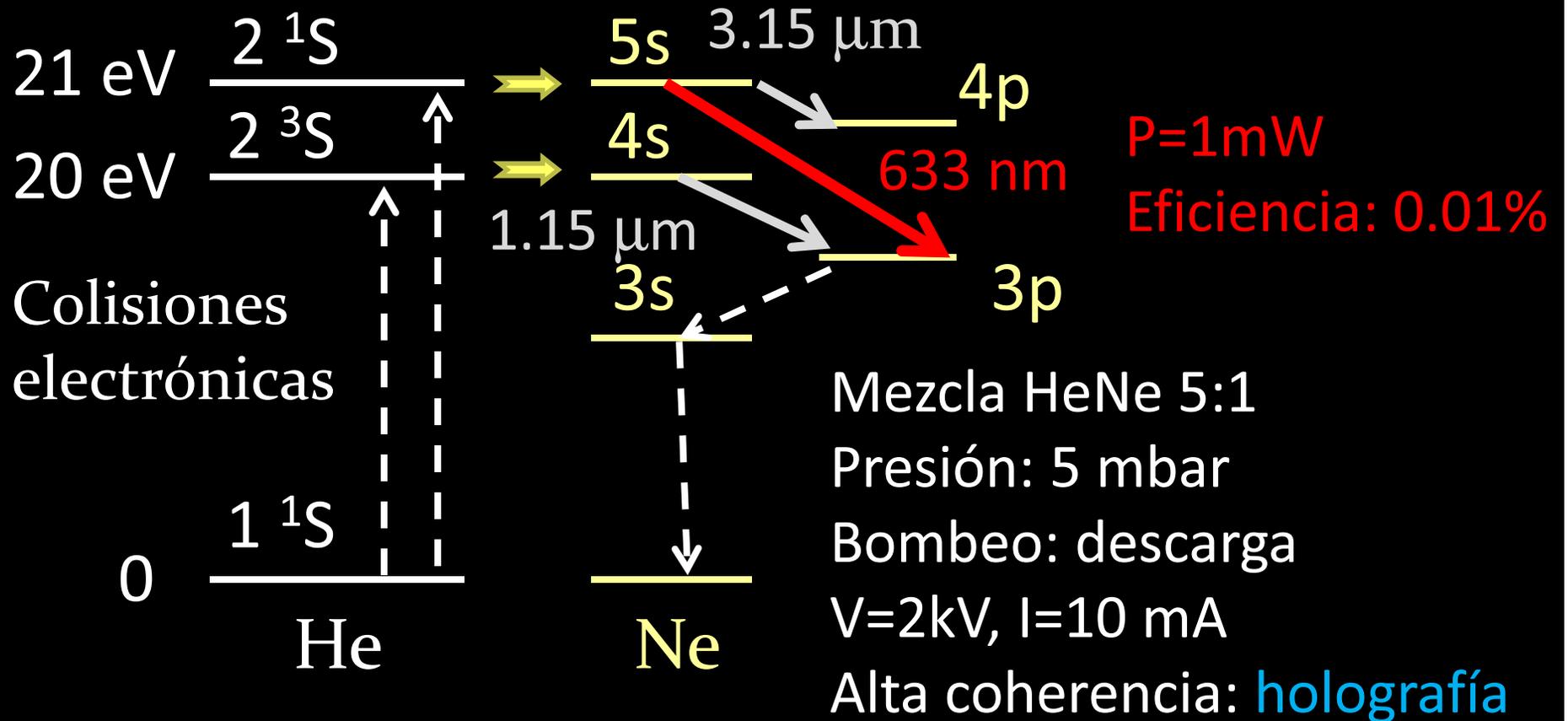


Láseres gaseosos

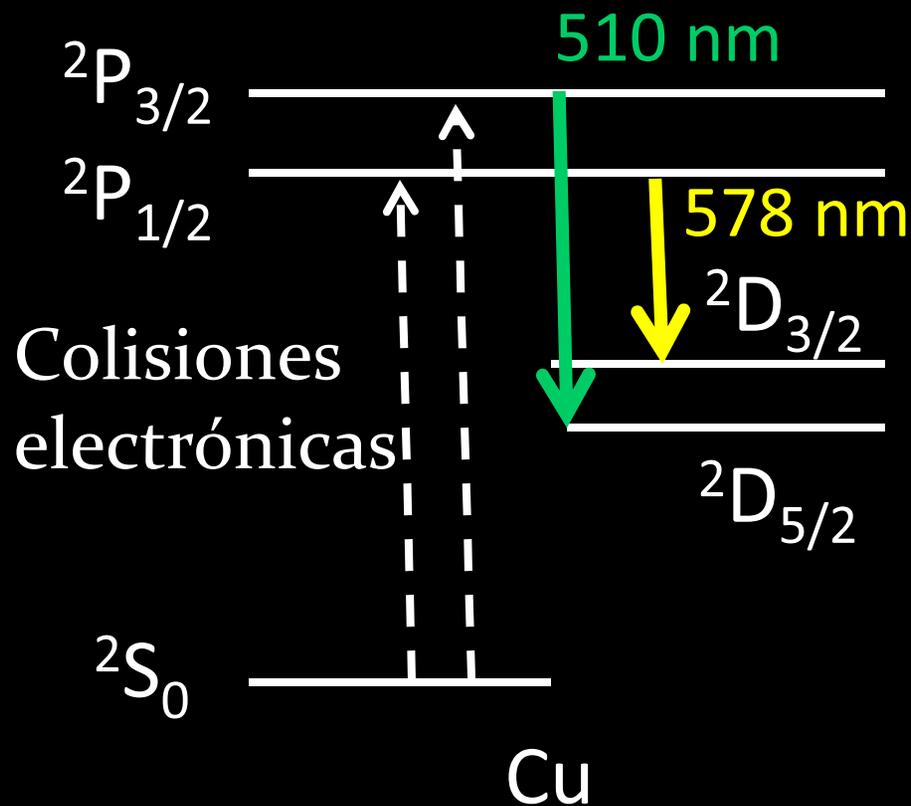
- HeNe
- Vapor metálico
- Argón ionizado
- Excimero
- Nitrógeno
- CO₂



Láser de HeNe



Láser de vapor metálico (Cu, Au, Pb, Cd)



$$T = 1500^{\circ}C \pm 20^{\circ}C$$

Bombeo: Pulsos eléctricos

Energía: 10mJ

Duración: 10 ns

Tasa de repetición: 3kHz

Solo en modo pulsado

Alta Ganancia $7m^{-1}$

Eficiencia: 1%

Medicina: Fototerapia



Láser de Ar⁺



Ar⁺ 15 eV 3p⁵

Ar 0 3p⁶

Potencia: 20W, Eficiencia <0.1%

Presión: 0.1 mbar

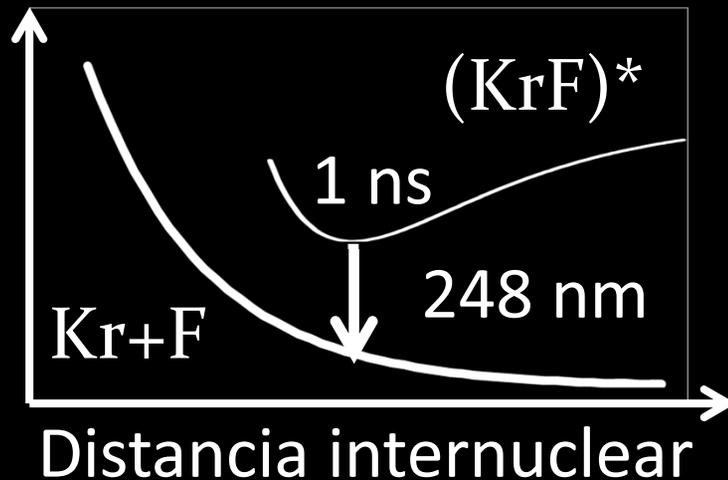
Bombeo: descarga, V=5kV, I=10 A

Bombeo de otros: colorante y TiS



Láser de Excímero

Energía



Duración del pulso: 30 ns

Energía por pulso: 100J

Eficiencia: 1%

Litografía UV (estructuras de 45 nm con ArF (193nm))

Bombeo: descarga eléctrica pulsada. $V=1\text{MV}$, $I=10\text{kA}$

Colisiones de electrones con Kr y reacción química de



Láser de CO₂

- Transiciones entre estados vibracionales de la molécula
- Alta eficiencia : 10-50%
- Diferentes modos de operación: cw, pulsado, TEA.
- CW: 100W para L=1m
- TEA: Pulsos de 100ns a 100kW

Aplicaciones:

- Industria: corte, soldadura
- Medicina



Láseres de estado sólido

- Rubí
- TiS
- Láseres YAG
- Láser de fibra



Láser de TiS ($\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)

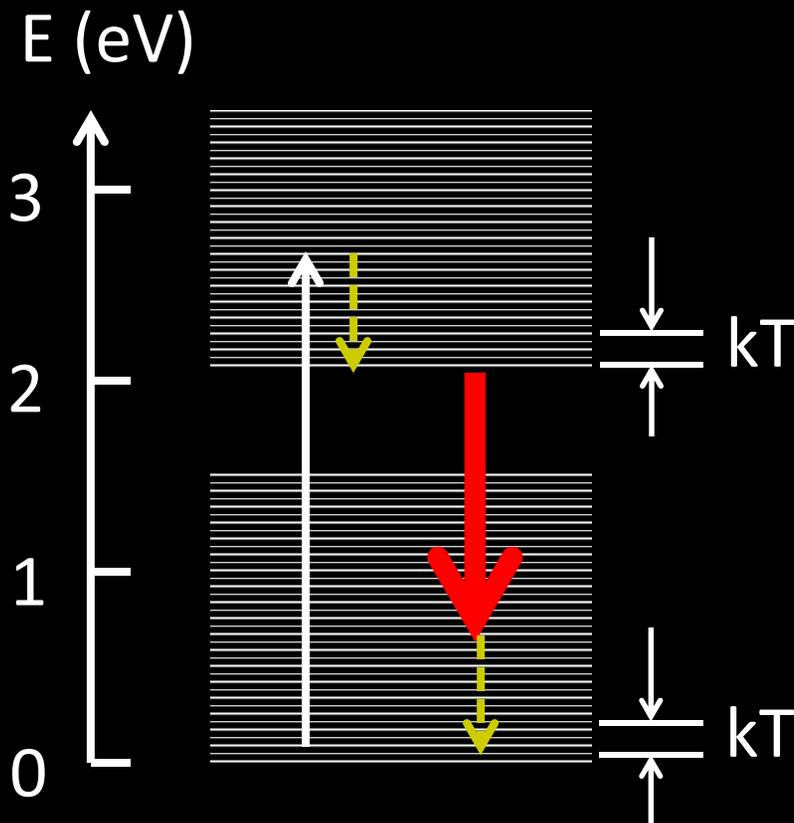
- Amplia banda para bombeo (con lámpara o láser)
- Nivel láser superior de largo tiempo de vida
- Distribución ancha de niveles inferiores (sintonizable)
- CW: Rojo e IR
- Pulsado: 5-100 fs
- Concentración de dopado con Ti_2O_3 : 0.03%
- Cristal de gran dureza
- Alta conductividad calorífica



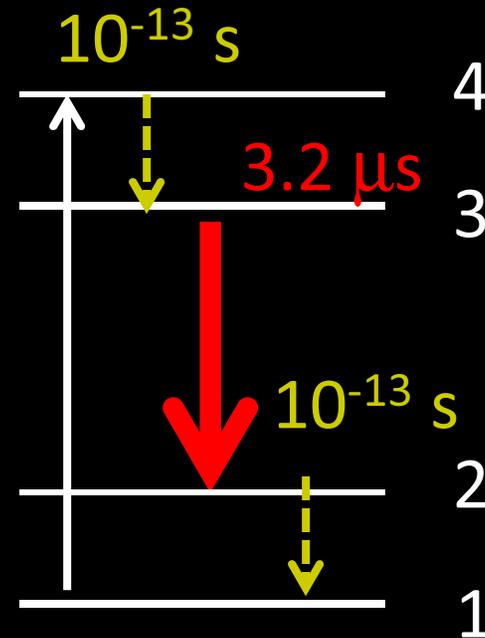
P. Moulton, JOSA B 3, 125, 1986



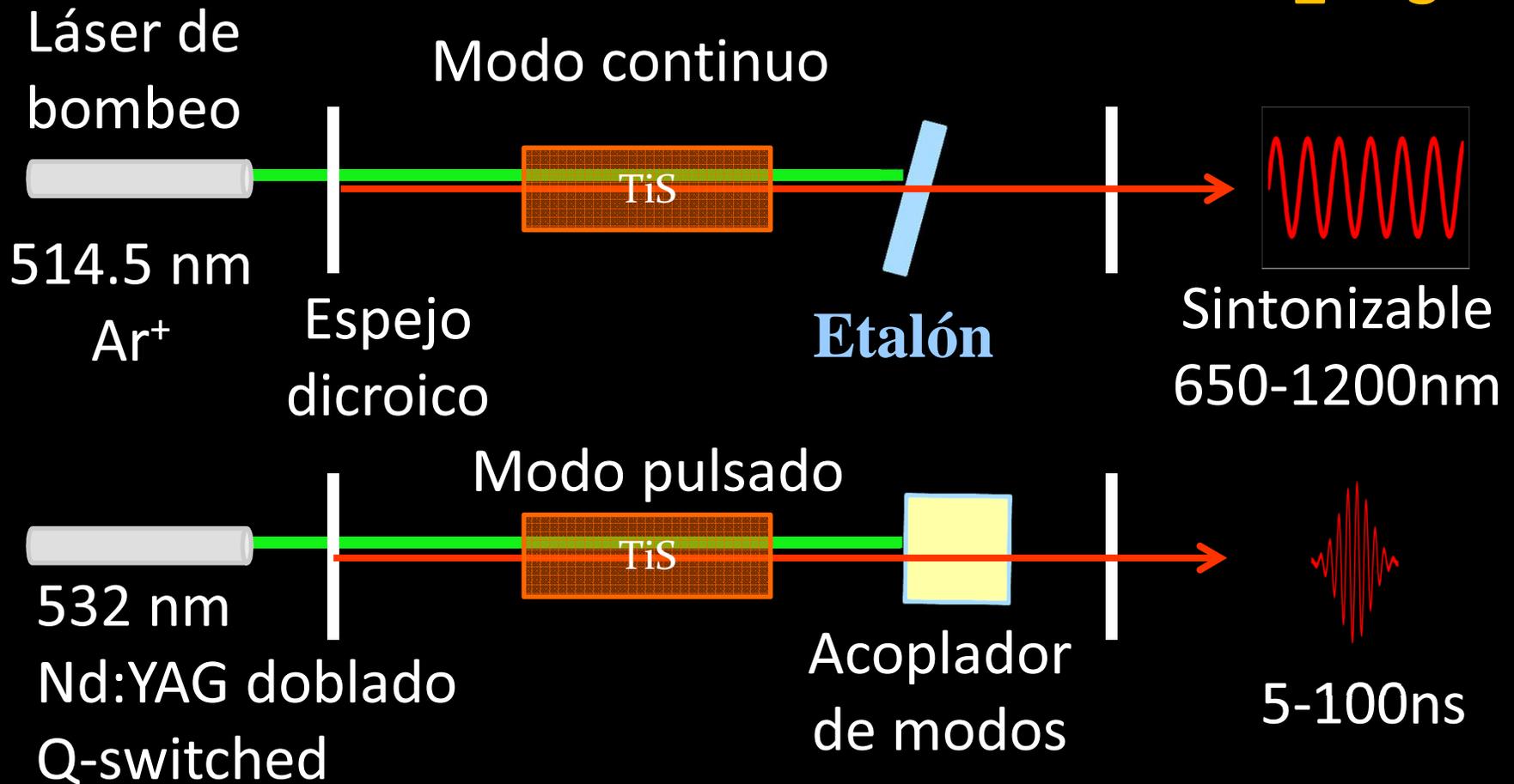
Láser de TiS ($\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)



Láser de cuatro niveles



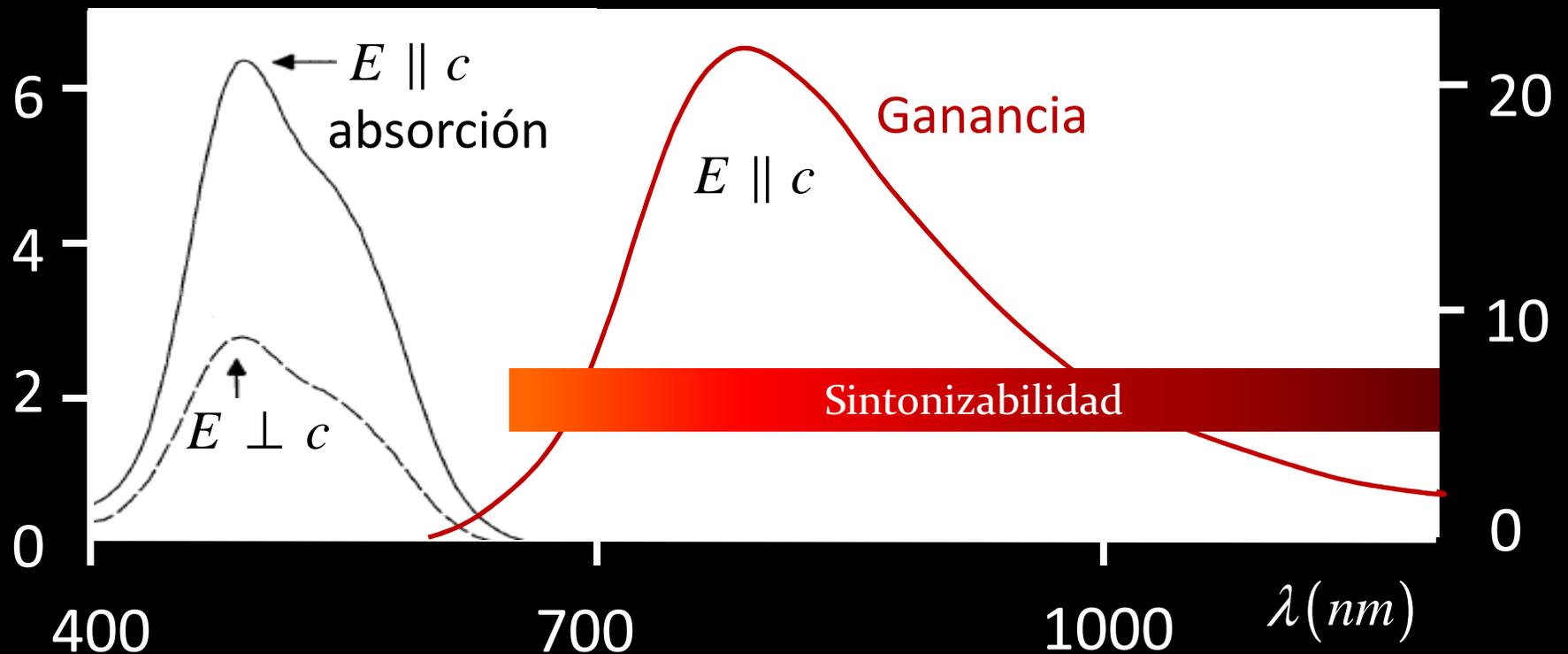
Láser de TiS ($\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)



Láser de TiS ($\text{Ti}^{3+}:\text{Al}_2\text{O}_3$)

$\sigma_{abs} (10^{-24} \text{ m}^2)$

$\sigma_{gan} (10^{-24} \text{ m}^2)$



Láseres YAG ($Y_3Al_5O_{12}$)

Láser	λ (μm)	λ_b (nm)	τ_{esp} (μs)	$\Delta\nu$ (GHz)	σ_{gan} (m^2)
Nd:YAG	1.06	808	230	140	3×10^{-22}
Yb:YAG	1.03	941 968	960	1700	2.1×10^{-24}
Pr:YAG	1.03	941			
Er:YAG	2.94	800 970			



Nd: YAG

Iones Nd^{3+} remplazan 1% de iones Y^{3+}

Bombeo óptico: lámpara o láser de semiconductor

Potencia: 1-10W

Pulsos gigantes: 1J

Aplicaciones:

- Industria: Procesamiento de material: taladrar, soldar, grabar
- Medicina: Cirugía, cirugía oftálmica, dermatología
- Fusión nuclear



Laser Omega
Universidad de Rochester
60 rayos láser
Disparo de 20kJ

<http://hedp.physics.ucla.edu/>

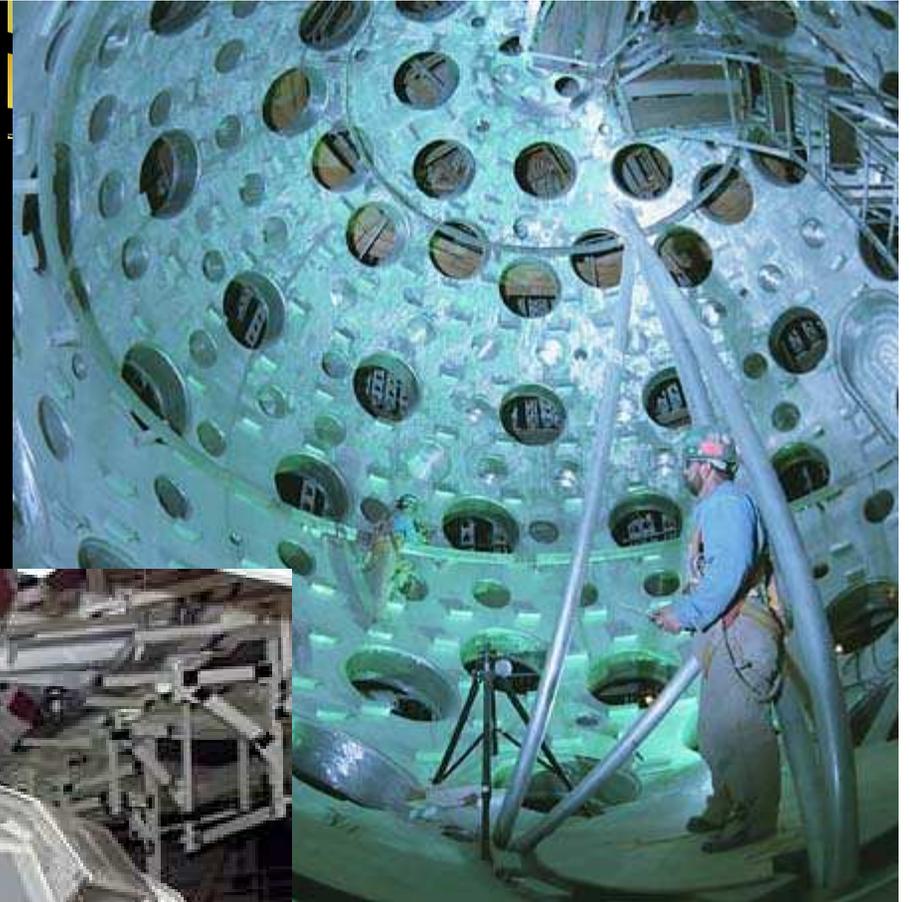
L
a
s
e
r

d
e

N
d
-
Y
A
G

Cámara del blanco en la NIF
(National Ignition Facility)
del Lawrence Livermore
National Laboratory. (10m de
diámetro)

<http://hedp.physics.ucla.edu/>



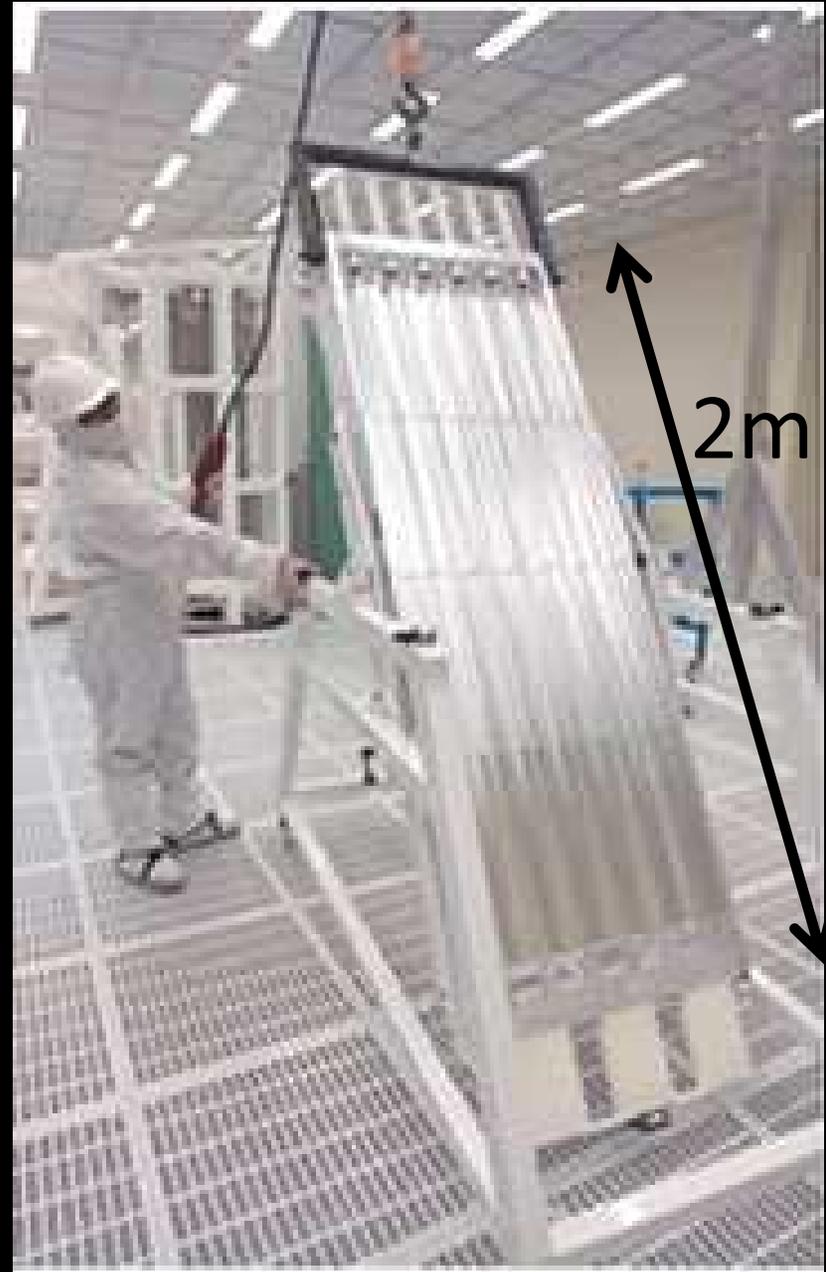
192 rayos láser
1.8 MJ
500 Terawatt (TW)

Lámpara flash de Maiman

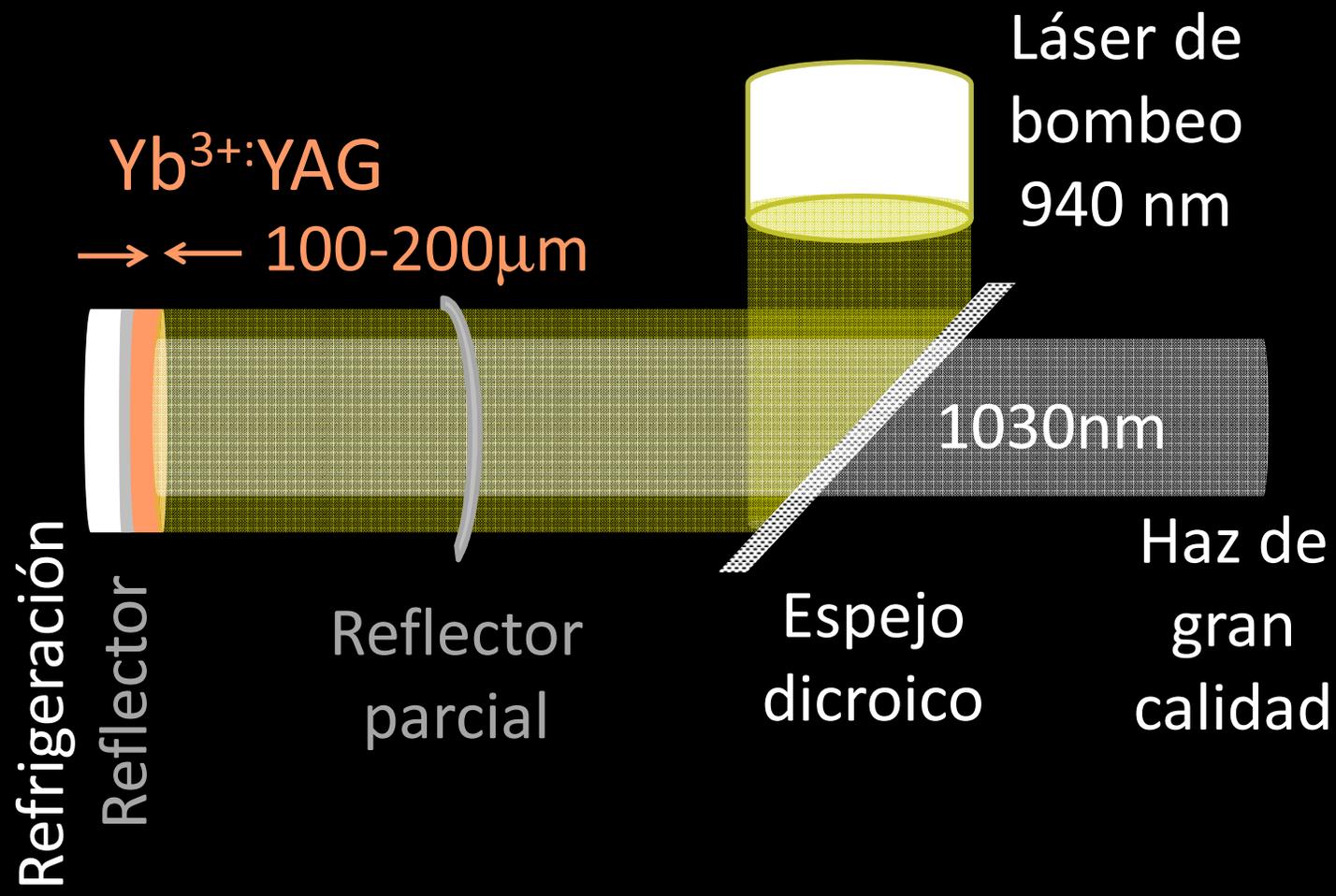


https://lasers.llnl.gov/education/how_lasers_work.php

Lámparas flash en NIF



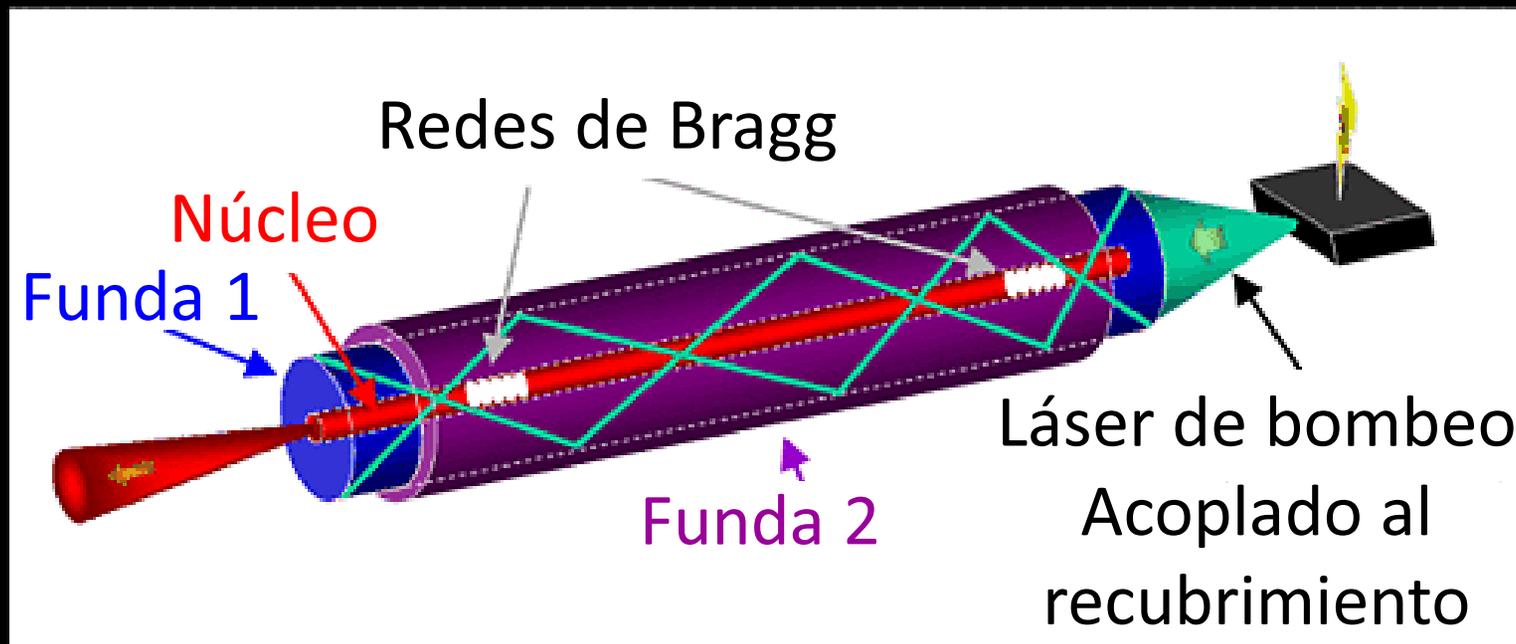
Láseres de disco



Ventajas de bombeo con LD (DPSSL)

- Ajuste de la longitud de onda de emisión del diodo con la banda de absorción del medio activo
- Fácil ajuste del perfil del haz del diodo laser al modo fundamental del resonador laser
- LD tiene eficiencias de mas del 30% para alta potencia y de mas del 85% para potencia baja.
- Tiempo de vida del LD es de mas de 5000 horas
- Sistema de enfriamiento simple
- Bajo costo y bajo peso.

Láseres de fibra*



<http://www.orc.soton.ac.uk/61.html>

*Ver curso Prof. J. Cascante

Láseres de fibra*:

Vidrio dopado con iones de tierras raras

Aplicaciones:

- [Procesamiento de materiales](#) (3:13)
- Química, Medicina, Biología
- El segundo armónico para bombear otros láseres



Láseres de fibra*:

Vidrio dopado con iones de tierras raras

Láser	λ (μm)	Dopado (%peso)
Fibra Yb^{3+}	1.02-1.2	4
Fibra $\text{Yb}^{3+}/\text{Er}^{3+}$	1.5-1.6	8/1
Fibra $\text{Pr}^{3+}/\text{Er}^{3+}$	2.7-2.8	8/8
Fibra Tm^{3+}	1.85-2.1	4
Fibra Ho^{3+}	2.1 y 2.9	3



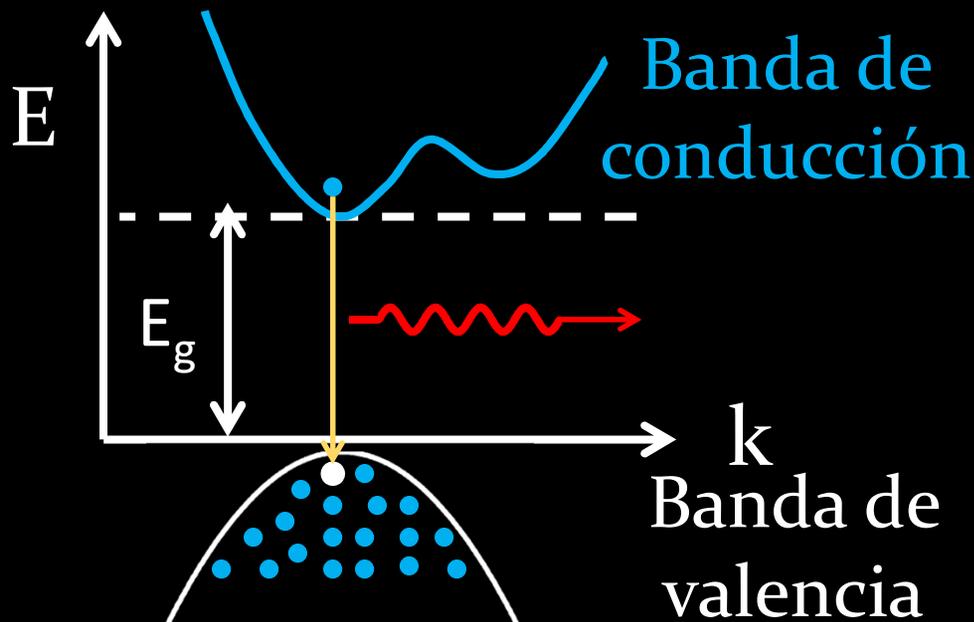
Láseres de semiconductor

- Homojuntura
- Doble heterojuntura
- De pozo cuántico (QWL)
- De cascada cuántica (QCL)



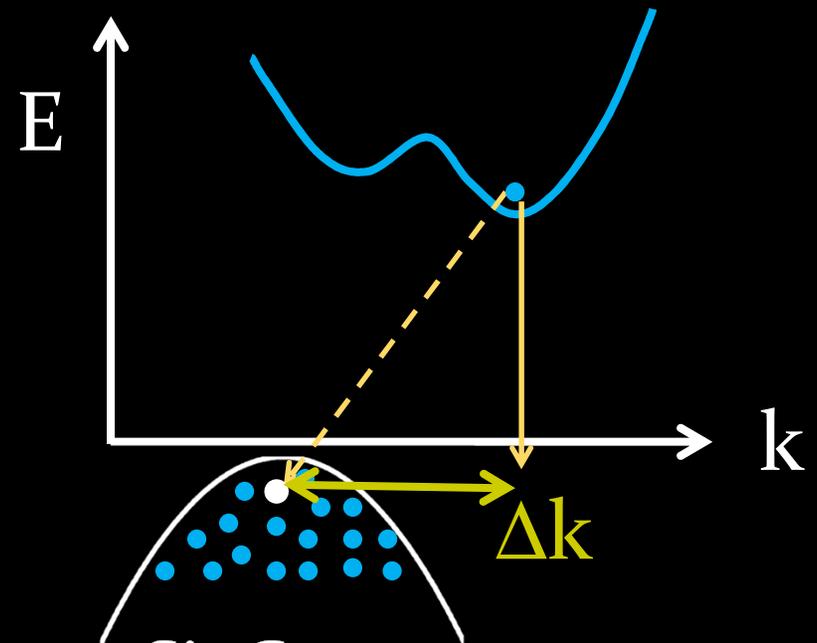
Semiconductores

Gap Directo



AsGa
Fuentes

Gap Indirecto

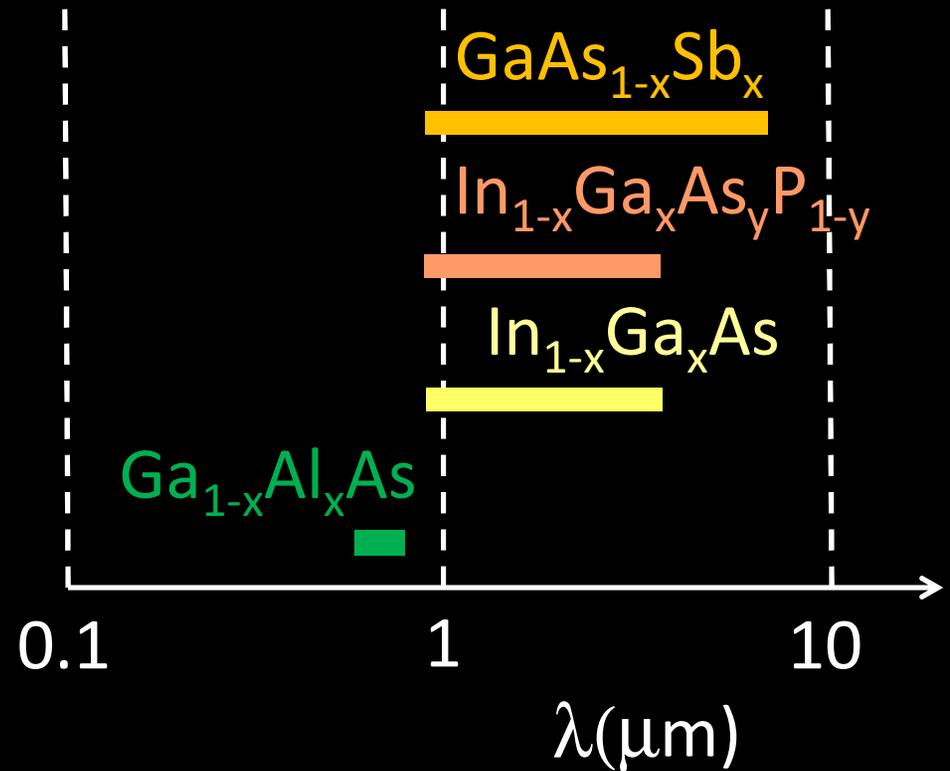
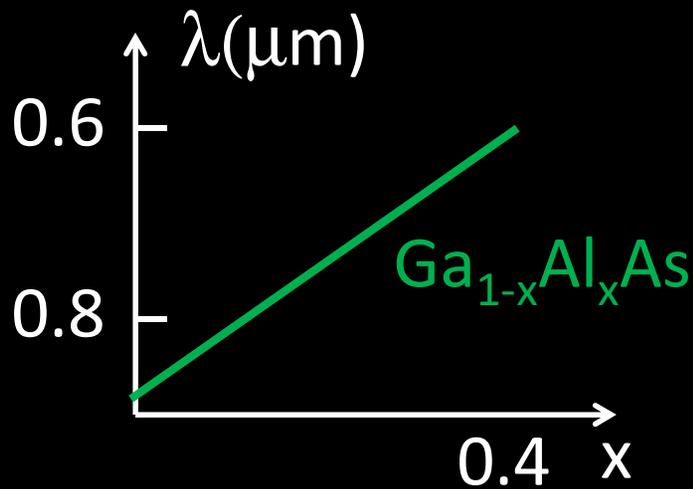


Si, Ge:
Detectores



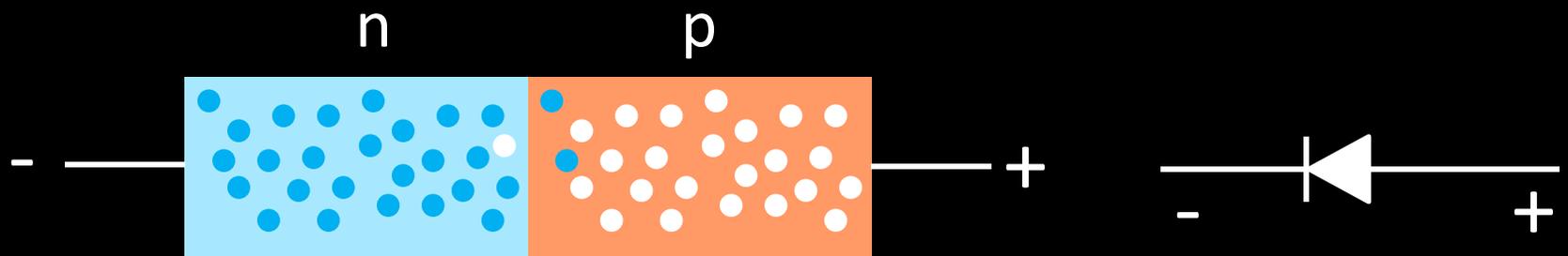
Semiconductores directos

III	IV	V
Al	Si	P
Ga	Ge	As
In	Sn	Sb

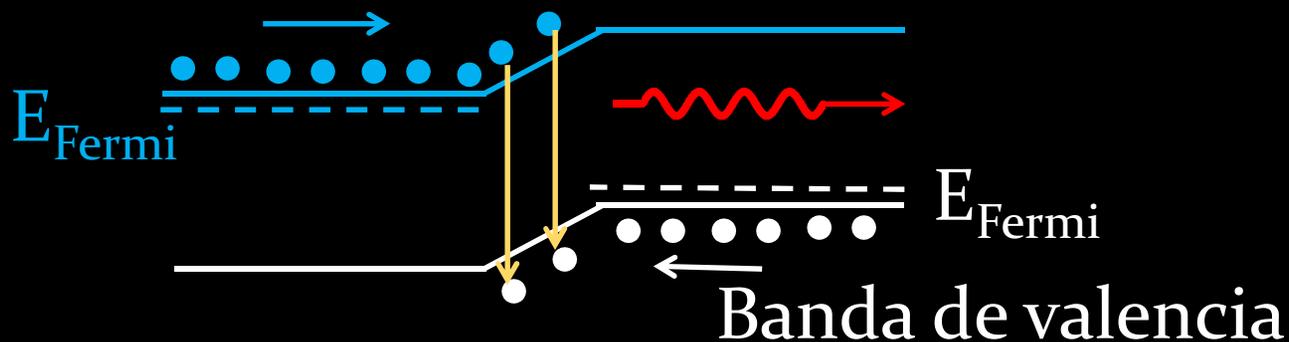


Light Emitting Diode (LED)

Juntura np



Banda de conducción



Homo- y Heterojunturas

- Homojuntura = una juntura n-p hecha de dos semiconductores con diferente dopado pero del mismo material (igual gap de energía).
- Heterojuntura = juntura formada entre semiconductores con diferente gap de energía.
- LED o LD de heteroestructura = estructura con junturas entre materiales con diferente gap de energía.



Homojuntura

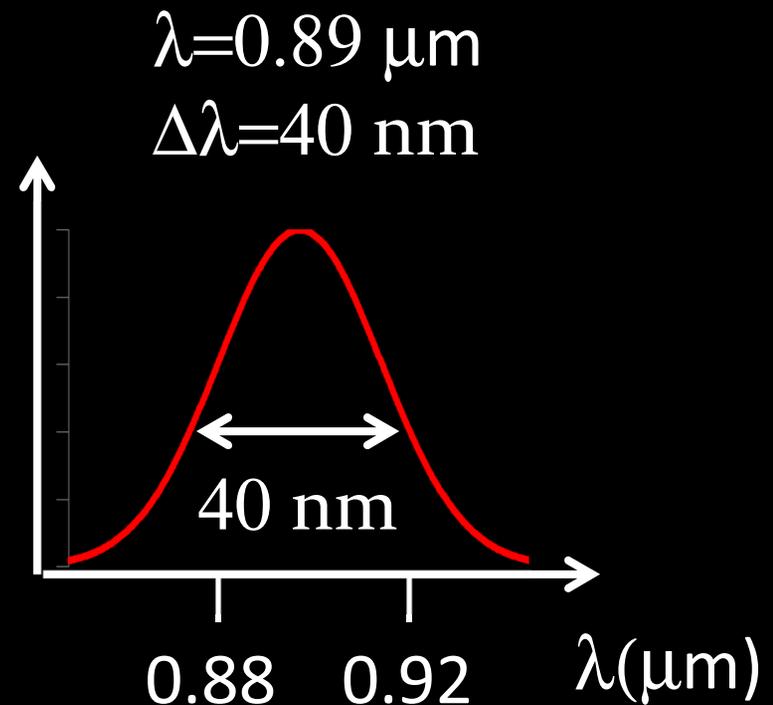
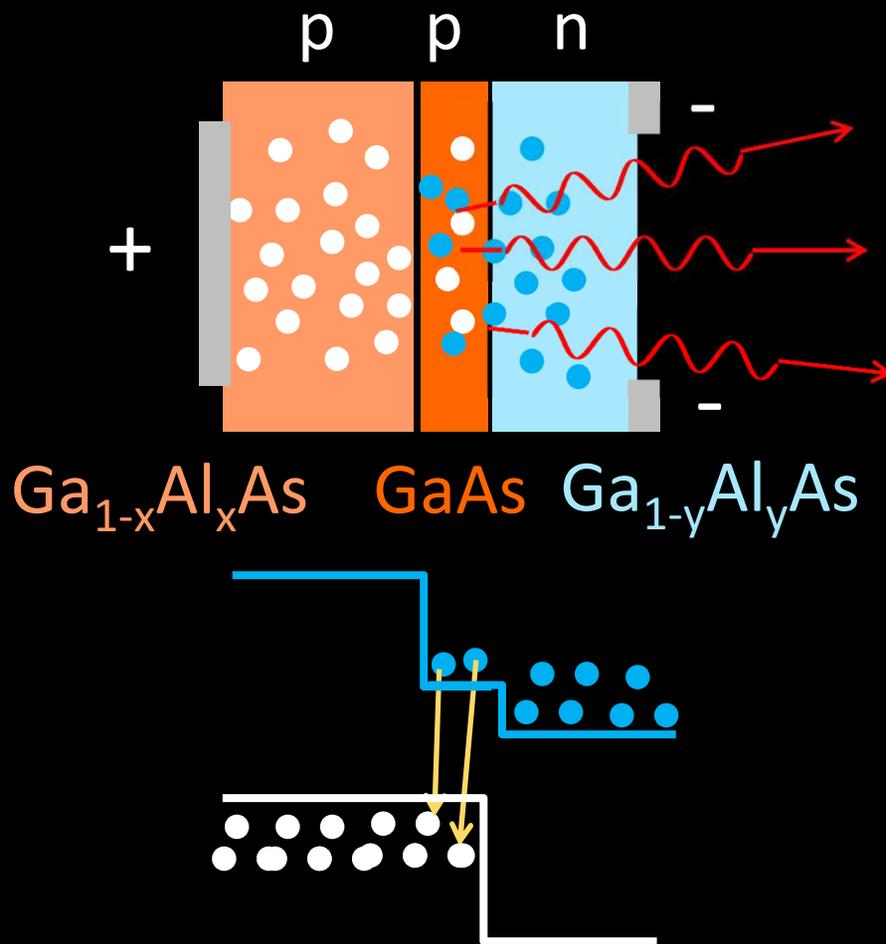
- Región p delgada → no reabsorción de la luz. Si la región p es muy delgada, los electrones pueden escapar de la región p por difusión y recombinarse en procesos no radiativos.
- Región p gruesa → Reabsorción de la luz antes de abandonar el dispositivo.

Heterojuntura

- Resuelve el problema de reabsorción
- Confinamiento de portadores

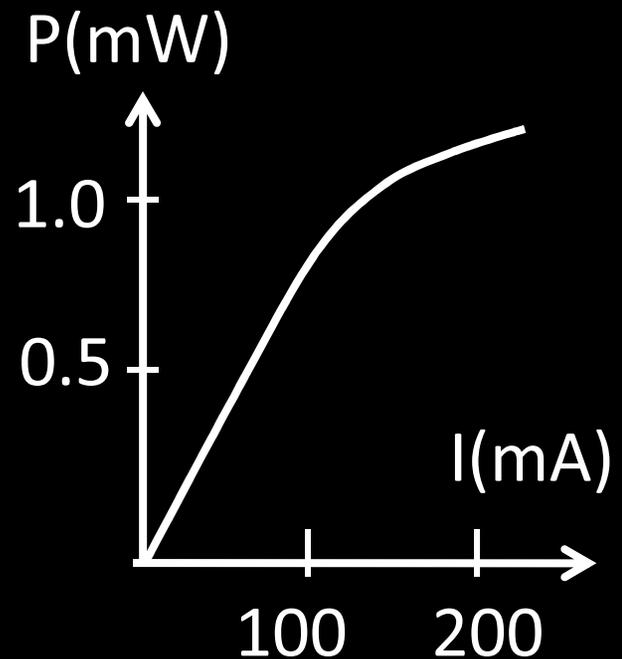
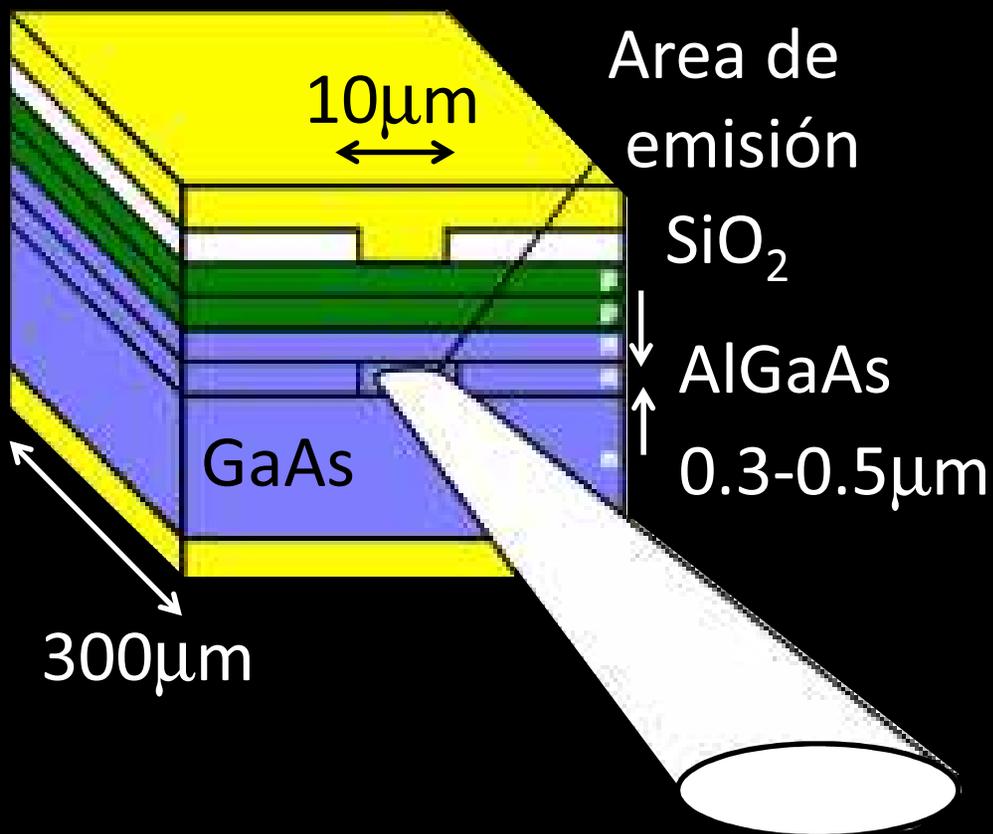


LED de doble heteroestructura



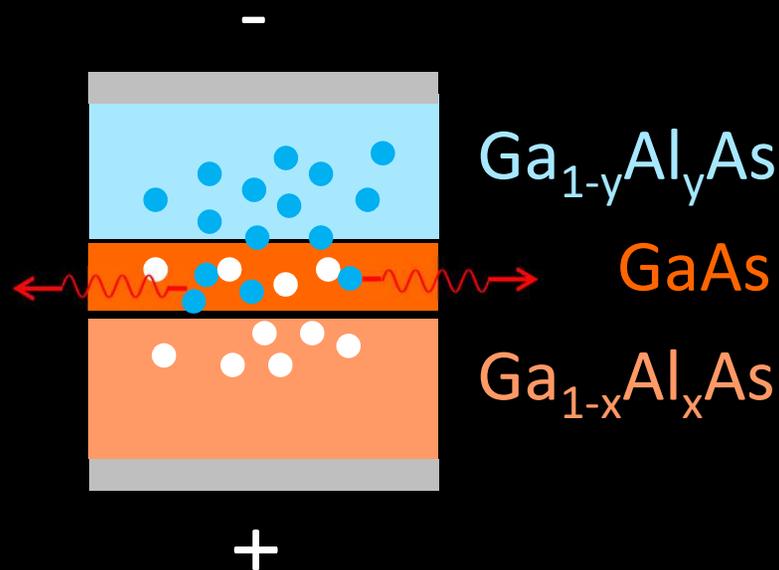
LED (emisor de lado)

Contacto metálico



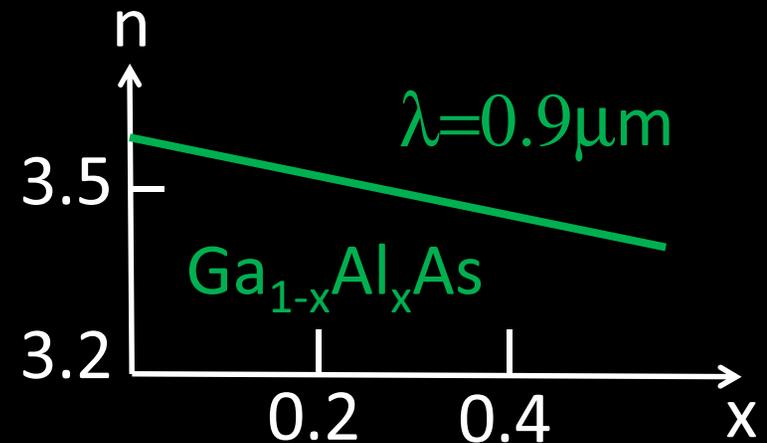
$$\eta_{ext} = \frac{P_{opt}}{IV} \times 100\%$$

Diodo láser (LD)



Guía de onda: La luz es atrapada en la película de GaAs

Confinamiento óptico

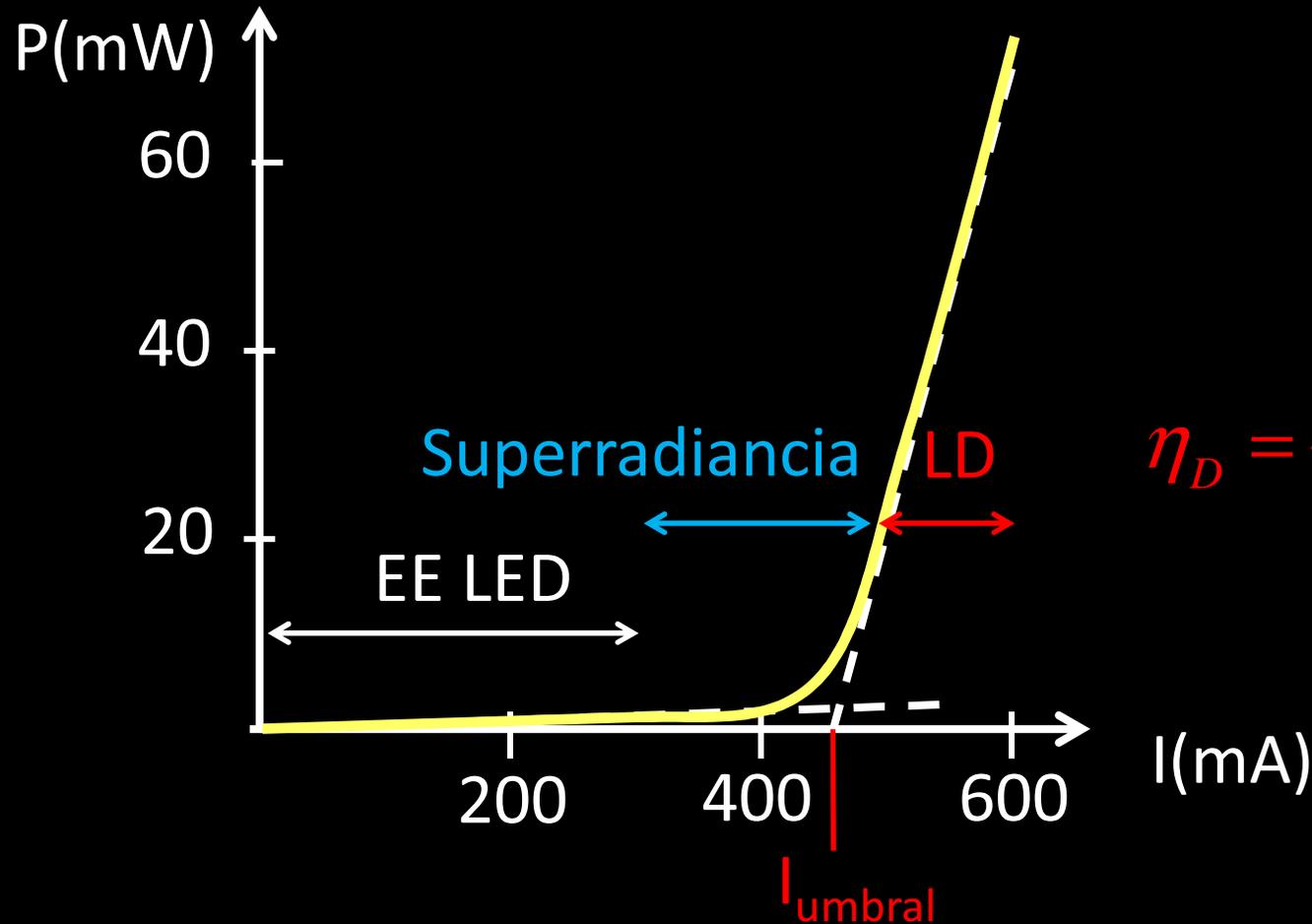


$$x \sim 0.35 - 0.5$$

$$\Delta n \sim 5 - 10\%$$



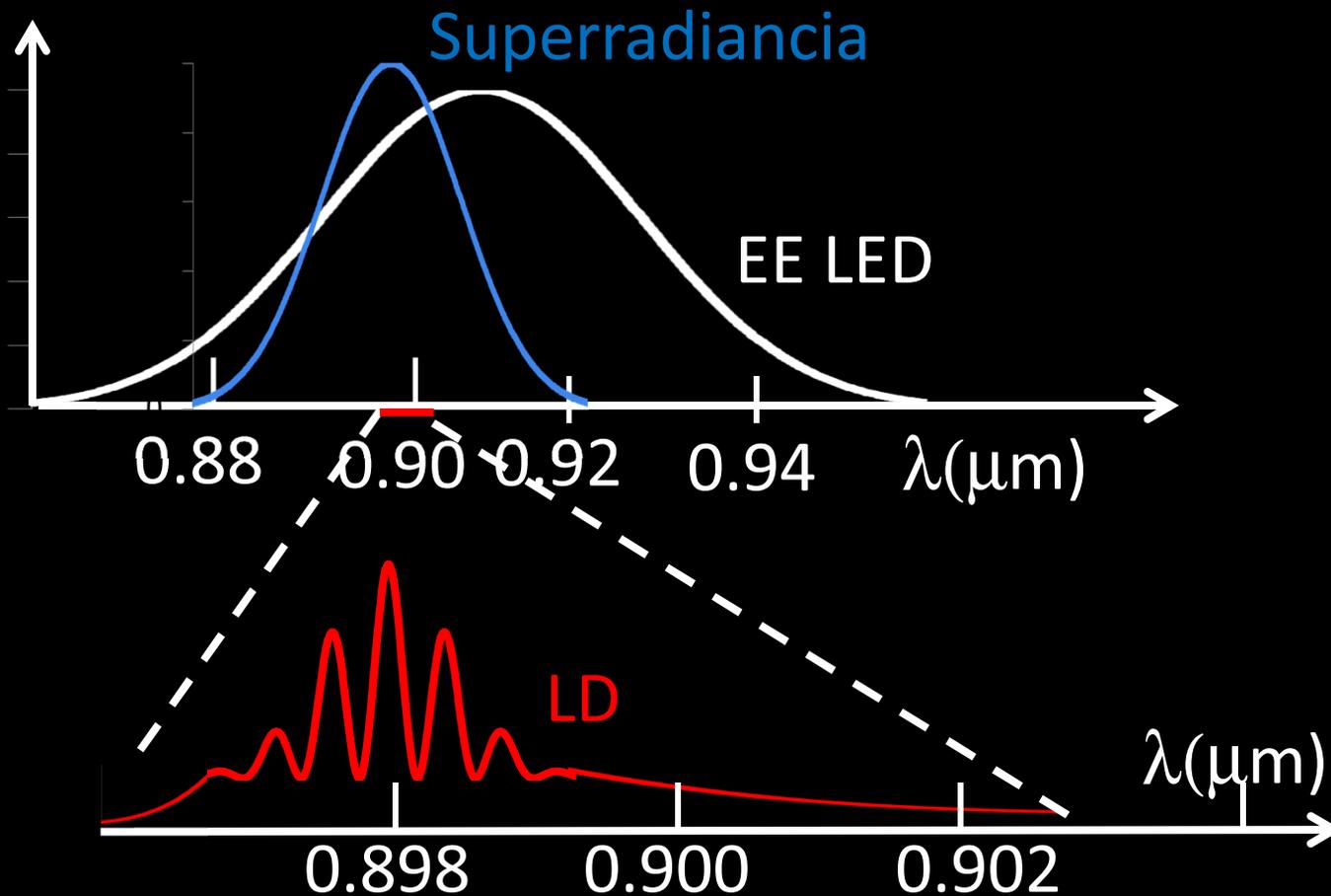
Diodo láser (LD)



$$\eta_D = \frac{\Delta P_{\text{opt}}}{\Delta I} \frac{e}{h\nu_{\text{foton}}}$$

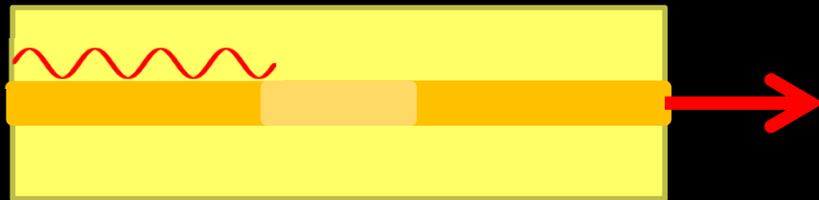


Características espectrales



Láser DBR

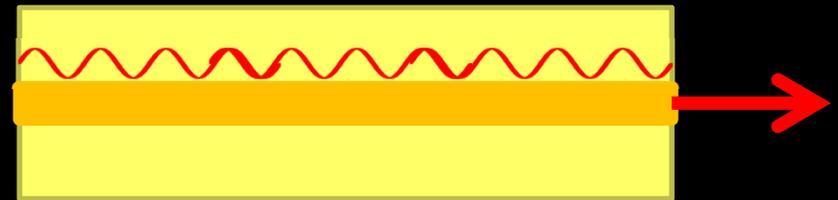
Reflector de Bragg Sección de fase



Sección de ganancia

Láser DFB

Reflector de Bragg



Sección de ganancia

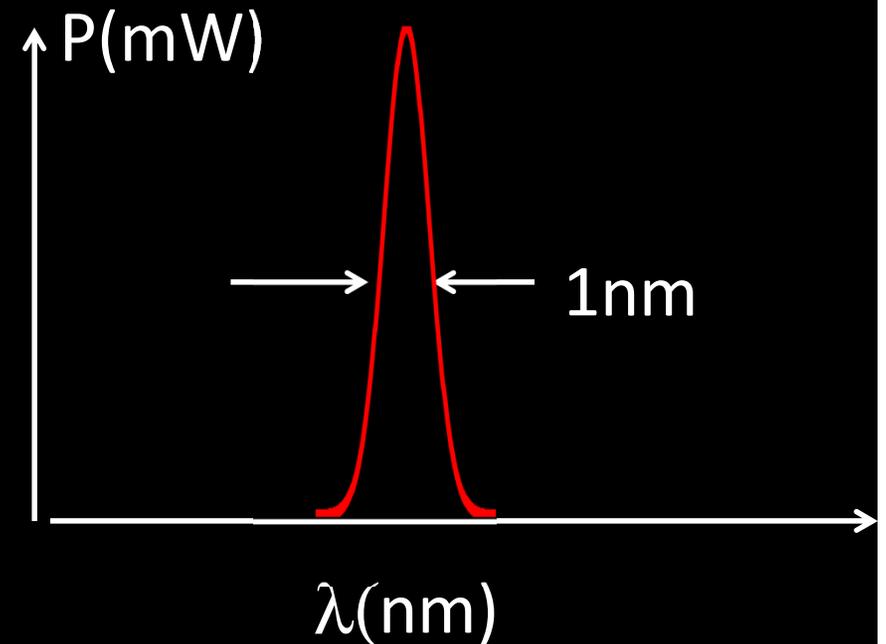
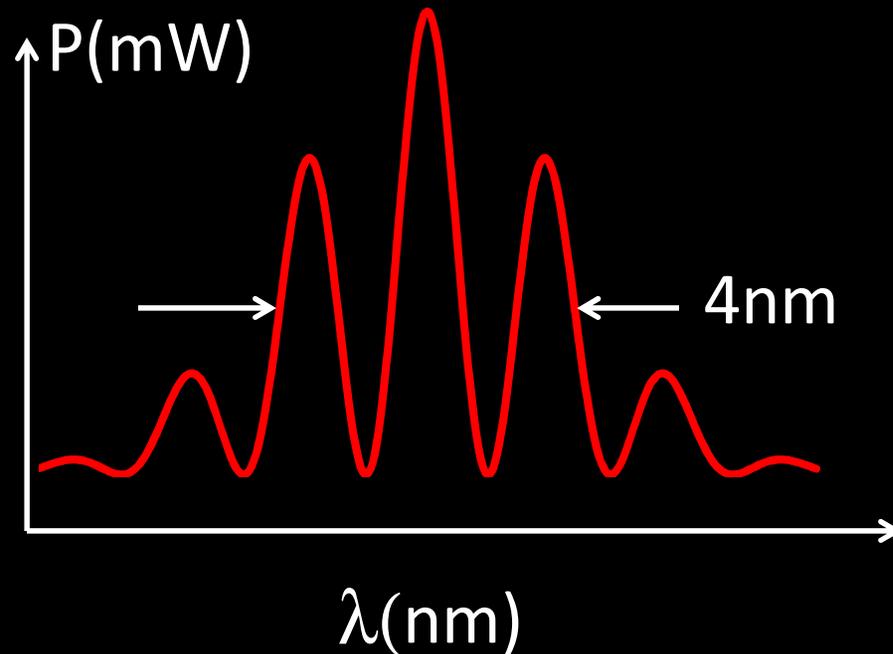
Alta potencia, sintonizables, alta monocromaticidad



Espectros

Láser Fabry-Perot

Láser DFB

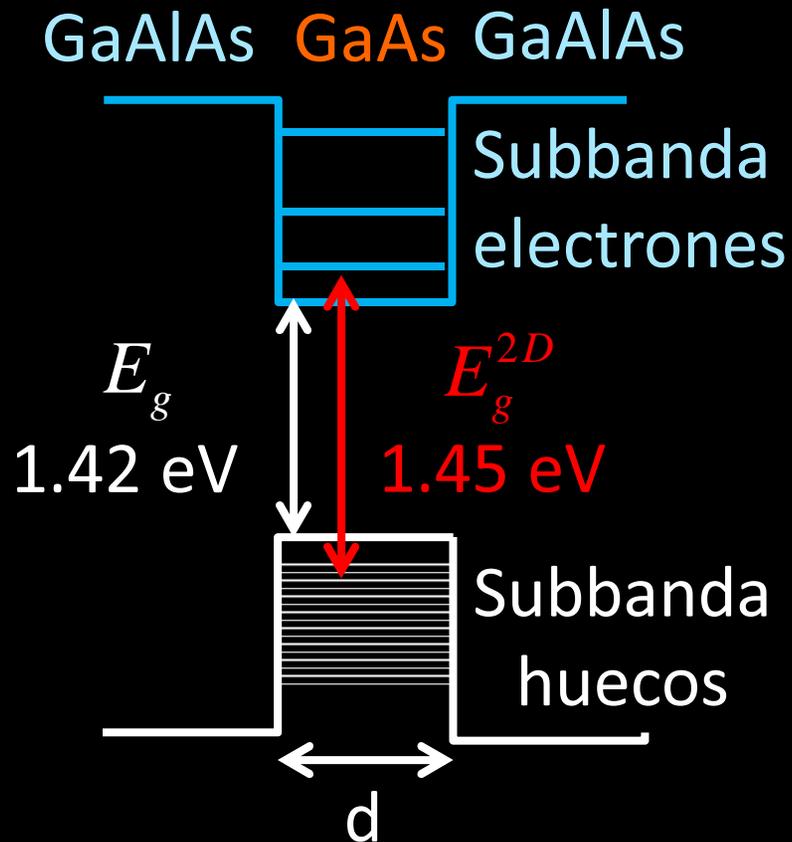


Láser de Semiconductor

- Convierte corriente eléctrica en luz
- Tiene un alto coeficiente de ganancia ($>10\text{cm}^{-1}$).
HeNe (10^{-3}cm^{-1}), CO_2 (0.05cm^{-1})
- Puede alcanzar eficiencias de mas de 50%.
- Opera en modo continuo o pulsado
- Puede ser diseñado para una determinada λ
- Sus dimensiones son pequeñas.
QW: Edge: $200\mu\text{m} \times 1\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$
VCSEL: $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m} \times 100\mu\text{m}$
- Puede producirse en masa
- Otros láseres son mas direccionales y monocromáticos



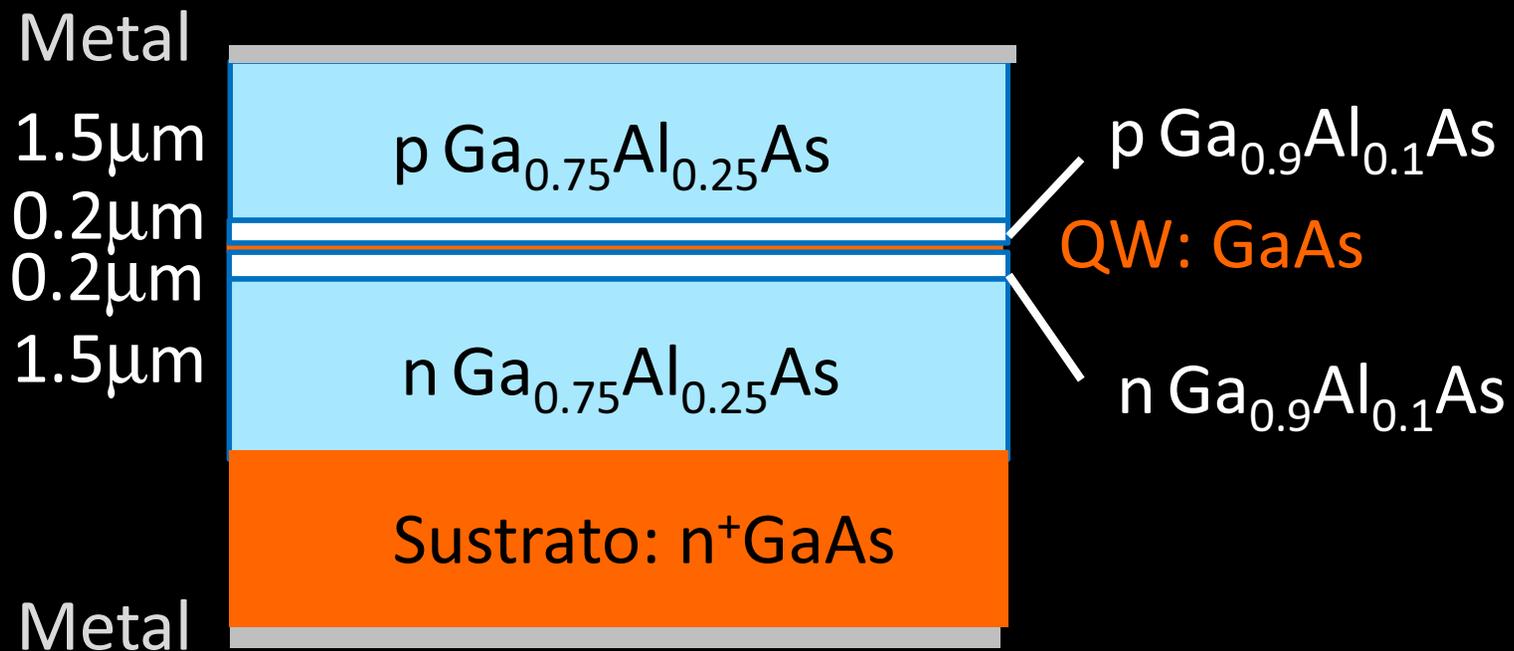
Láser de pozo cuántico (QW)



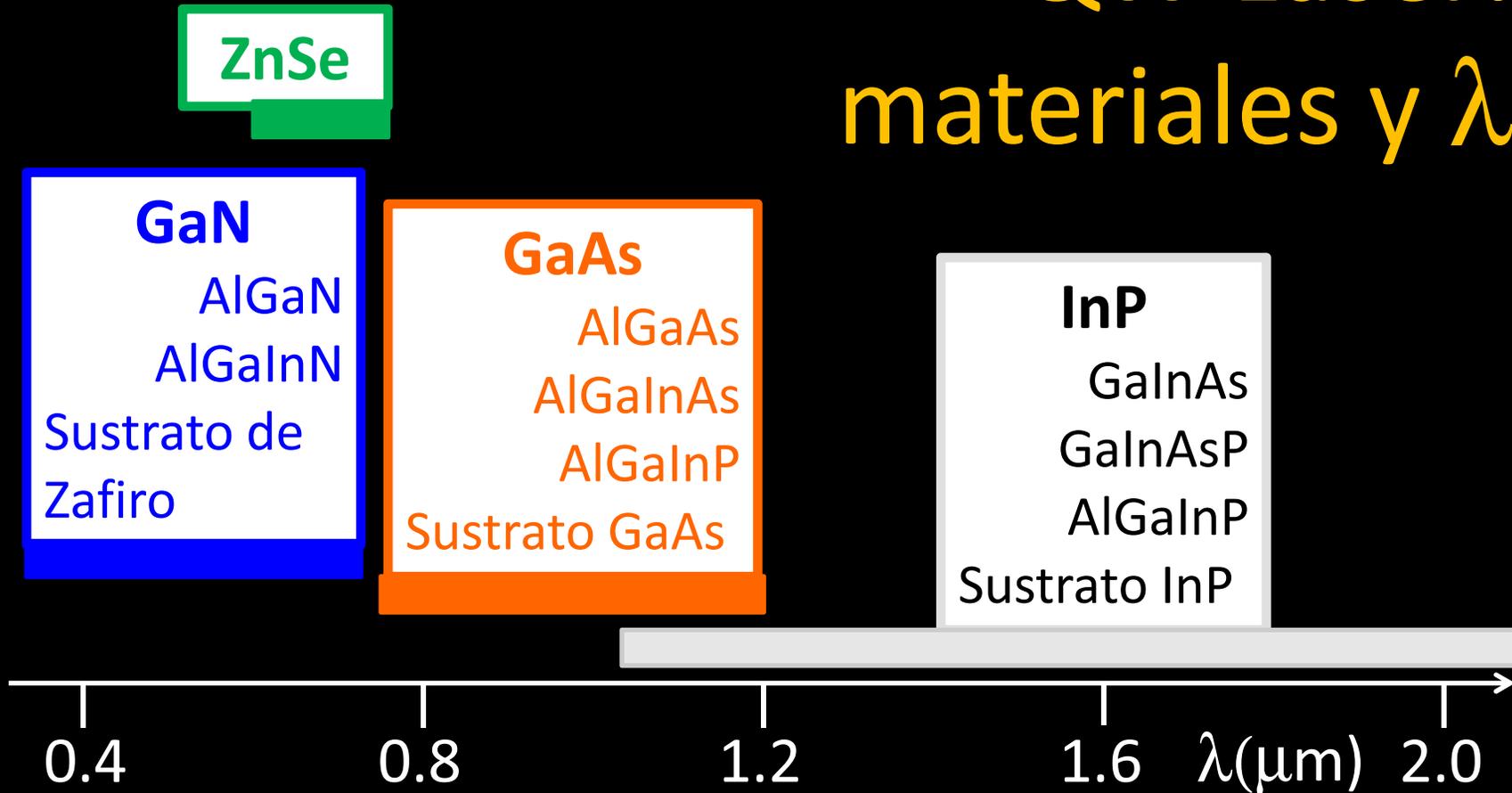
- Corriente umbral baja
- Alta ganancia diferencial
- $\lambda(d)$ (geometría)
- Visible, IR cercano y UV



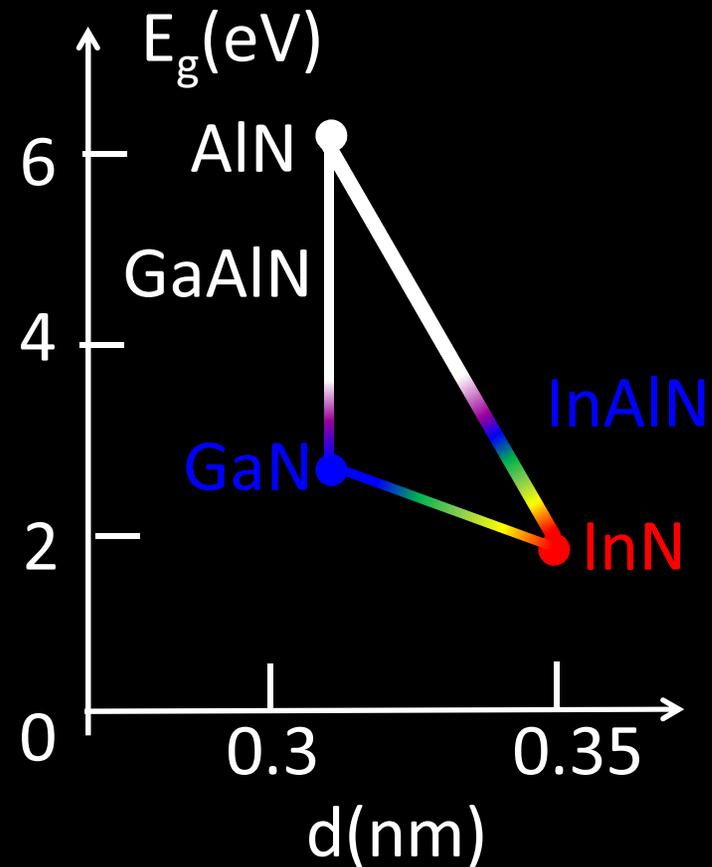
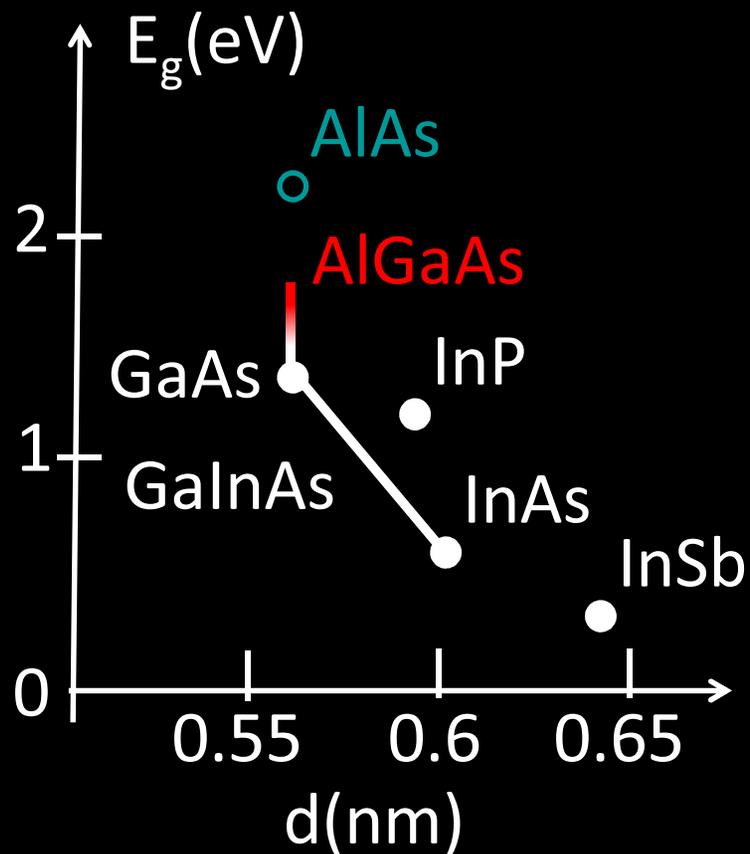
Láser de pozo cuántico (QW)



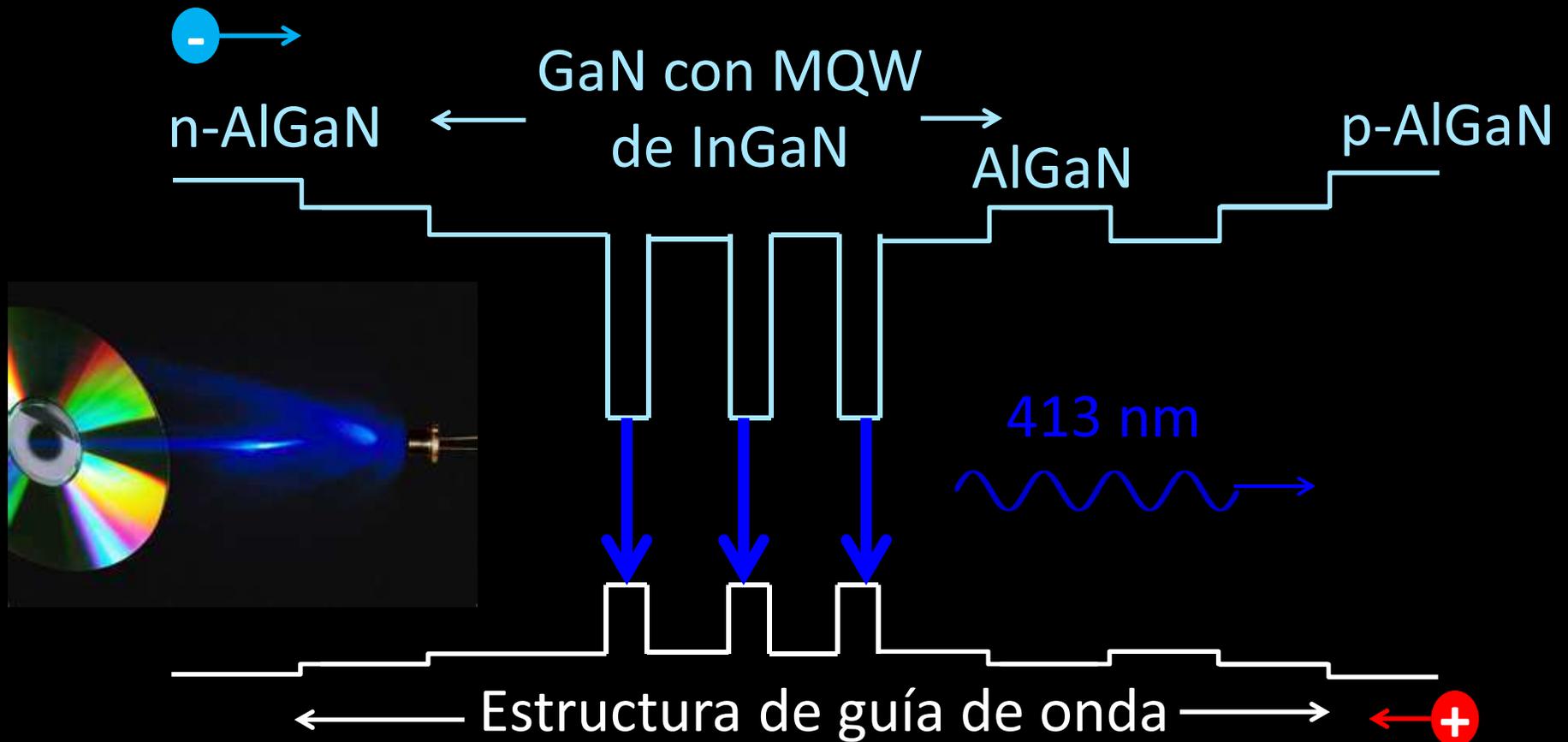
QW Láser: materiales y λ



QW Láser: Gap de energía



Láseres en el azul (GaN)

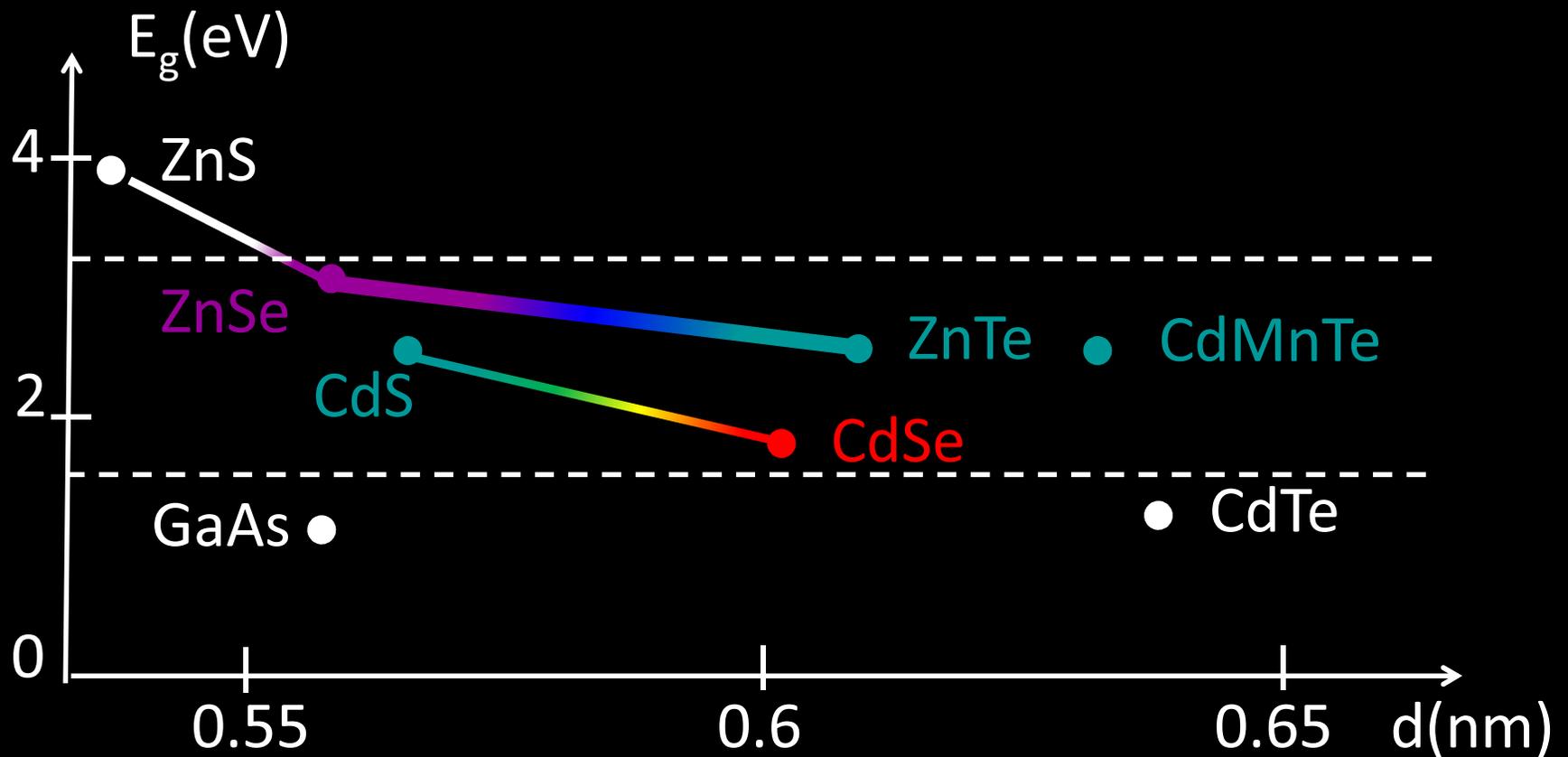




CREOL | The College of Optics & Photonics
UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA

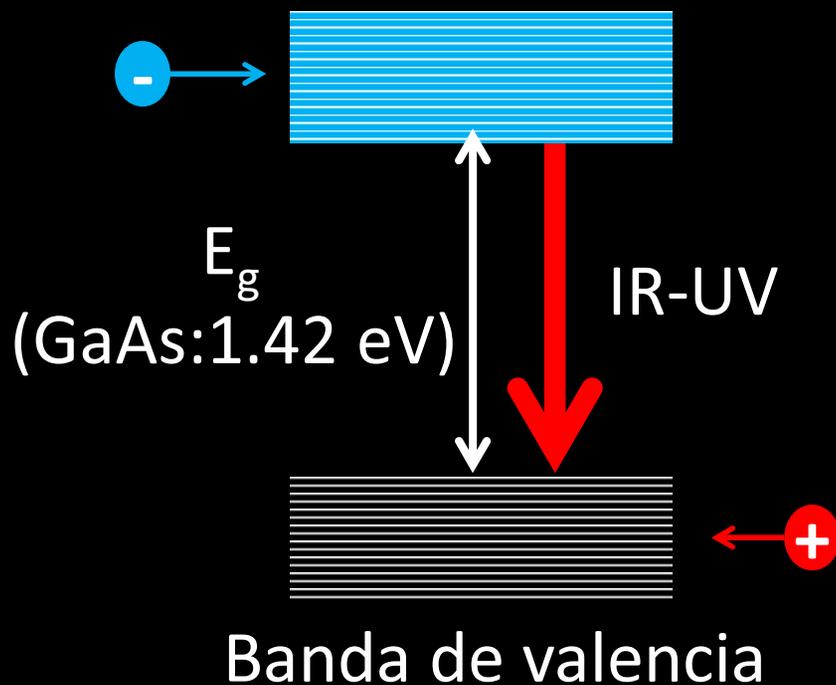
CREOL@25
Celebrating 25 Years of Excellence in Optics and Photonics

Láseres en el verde (Grupo II-IV)

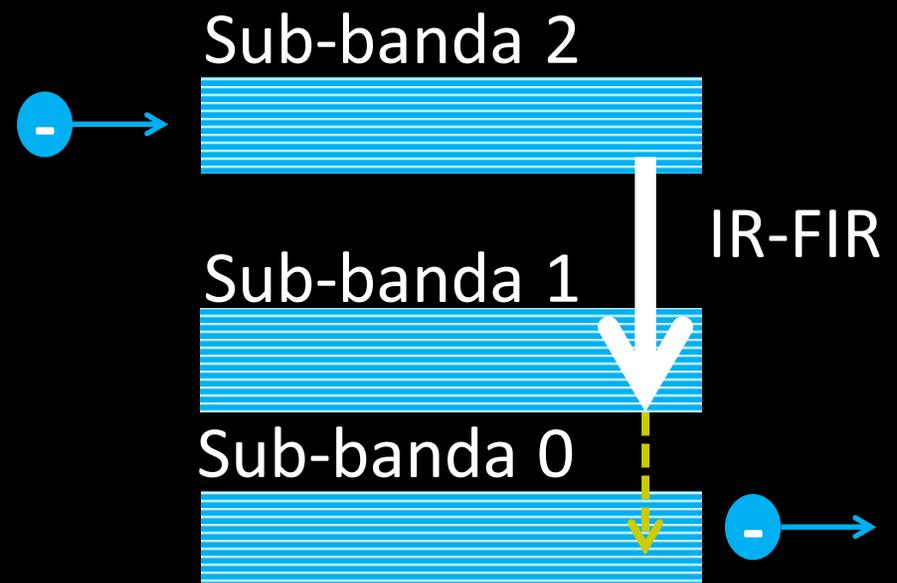


Láser de Semiconductor y QCL

Banda de conducción

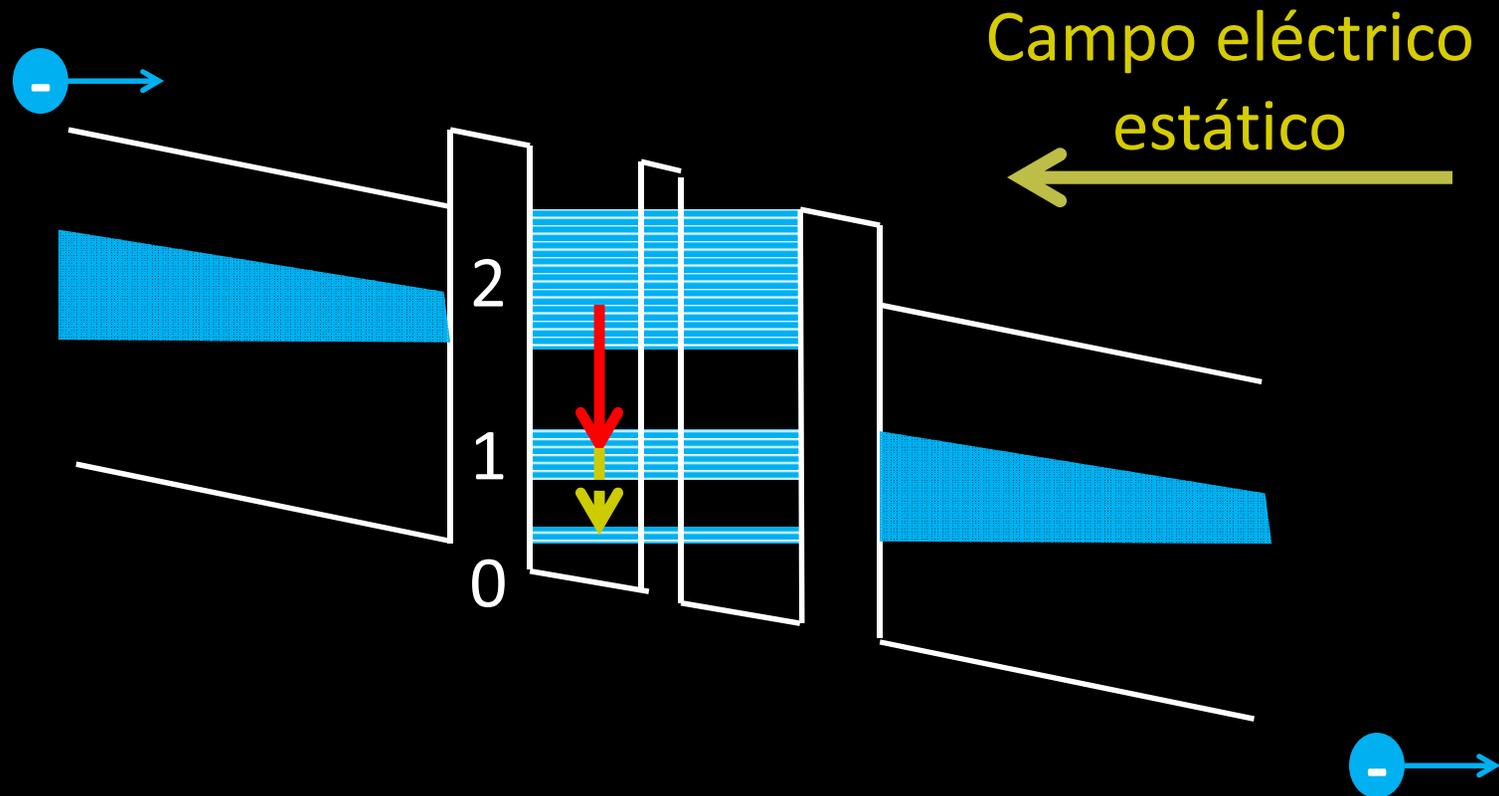


Láser de cascada cuántica
QCL (2-28 μ m)



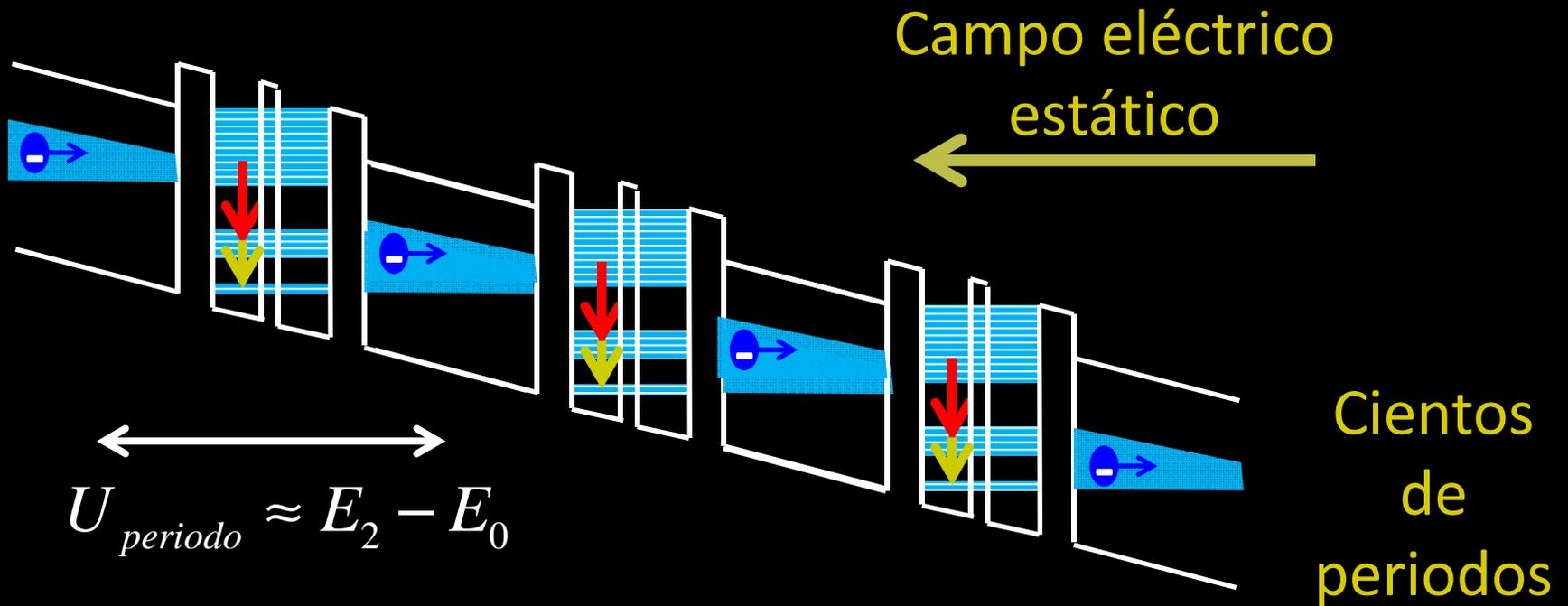
Láser de cascada cuántica (QCL)

Transiciones intersubbanda



Láser de cascada cuántica (QCL)

Transiciones intersubbanda



Láser de SC: aplicaciones

- Memorias ópticas (CD, BlueRay)
- Proyección en color
- Impresora láser
- Sensores
- Microcontroladores
- Telecomunicaciones
- Bombeo de otros láseres



Láser de electrones libres (RayosX)



<http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=42142>

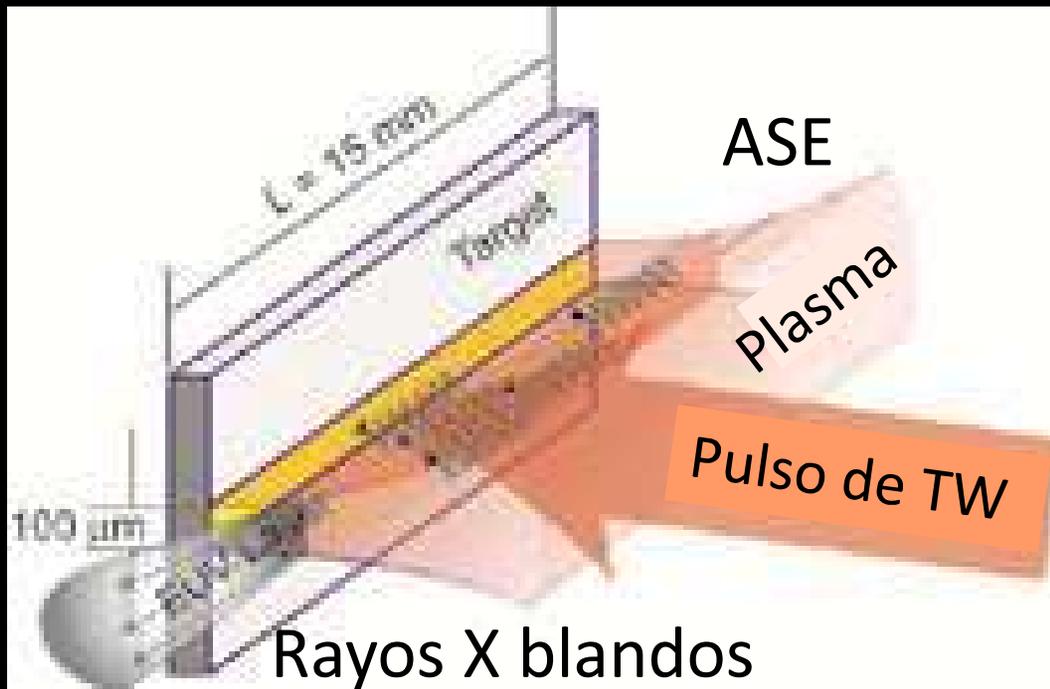
Ondulador del LCLS-I en el SLAC National Accelerator Laboratory. Generó pulsos láser de rayos X en Abril 2009. Se construirá un segundo ondulador a la izquierda.



CREOL | The College of Optics & Photonics
UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA

CREOL@25
Celebrating 25 Years of Excellence in Optics and Photonics

Rayos X (tabletop)



Universidad de Bern, J. Balmer

La columna de plasma producida por el pulso de bombeo enfocado linealmente se comporta como un medio de ganancia de un solo paso. Ancho de línea relativo $<10^{-4}$.

Aplicación: Litografía



La tecnología continua evolucionando:

- Láseres que han entrado en desuso:
Laser de colorante y He-Ne
- Láseres con mercado estable:
CO₂, Excímeros, láseres de iones
- Láseres con aplicaciones muy particulares :
He-Cd, vapor de Cu, centros de color, rubí, FEL.
- Láseres más usados actualmente:
Diodos laser, DPSSLs, TiS, láseres de fibra.
- Láseres novedosos:
DPSSL y fibra de alta potencia, láseres en matriz cerámica, QCL, QWL.

Aplicaciones de los láseres

- 1960
Un dispositivo en busca de una aplicación
- 2012
Miles de aplicaciones que explotan las propiedades especiales de la luz láser



GRACIAS!



CREOL | The College of Optics & Photonics
UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA

CREOL@25
Celebrating 25 Years of Excellence in Optics and Photonics