

# FOTOEMISORES

Diodos LASER

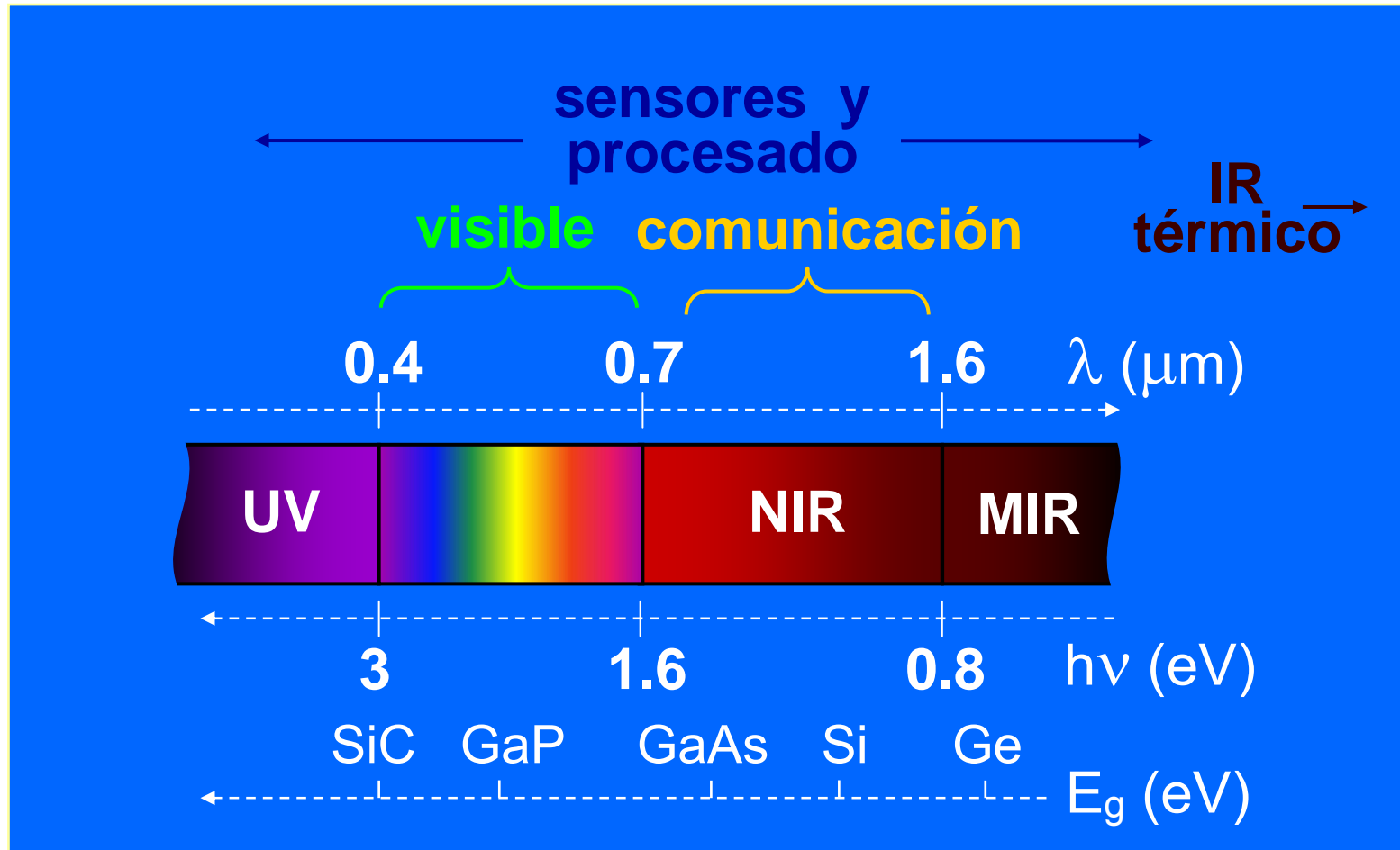
# Dispositivos Optoelectrónicos

- **Sensores**: convierten una señal óptica en una electrónica
  - Fotorresistencias
  - Fotodiodos
  - Fototransistores
  - Células solares
- **Emisores**: utilizan la energía de los electrones para emitir fotones
  - LEDs
  - Láseres
  - Lámparas incandescentes
  - Lámparas halógenas

# Ventajas de los fotoemisores

- Pequeño tamaño,
- gran fiabilidad,
- potencia óptica emitida,
- facilidad de acoplo a fibras ópticas
- Modulación de la potencia óptica a partir de una modulación de la inyección de portadores. O lo que es lo mismo una modulación de la corriente eléctrica.
- Las fuentes básicamente son dos:
  - LEDs, basados en la emisión espontánea de luz y
  - Diodos láser, basados en la emisión estimulada para generar ganancia en el sistema.

# Longitudes de onda de interés



$\Rightarrow$  Visible y NIR  
 $\approx E_g$  de los semiconductores

# Diodos LASER

- ¿Qué es un LASER?
- Fundamentos del LASER
- Funcionamiento
- Características eléctricas
- Estructura
- Diagramas de emisión
- Fiabilidad
- Aplicaciones

# ¿Qué es un LASER?

- Light **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation
  - Luz Amplificada por Emisión Estimulada de Radiación
- Un láser es un dispositivo complejo que emite luz monocromática y coherente por emisión estimulada de los fotones.
  - Un medio con **ganancia** fuera de la condición de equilibrio térmico
    - **Inversión de población**: tener muchos e<sup>-</sup> o átomos excitados
      - Introducir energía para romper el equilibrio térmico y existan más átomos en el nivel excitado ⇒ **bombeo**
  - **Realimentación óptica**: para aumentar el n° de transiciones radiativas conviene que haya un alto flujo de fotones en la región en la que se va a producir la transición

- Sea un semiconductor en equilibrio térmico donde se cumple que:

$$\frac{\textit{tasa emisión estimulada}}{\textit{tasa emisión espontánea}} = \frac{1}{e^{hc/\lambda KT} - 1}$$

- Para  $\lambda=1.3\mu\text{m}$  y  $T=300\text{ K}$ ,
  - esta relación es del orden de  $10^{-26} \Rightarrow$  nula
- Por lo que debemos salirnos fuertemente de las condiciones de equilibrio térmico si necesitamos hacer un laser, un medio con ganancia

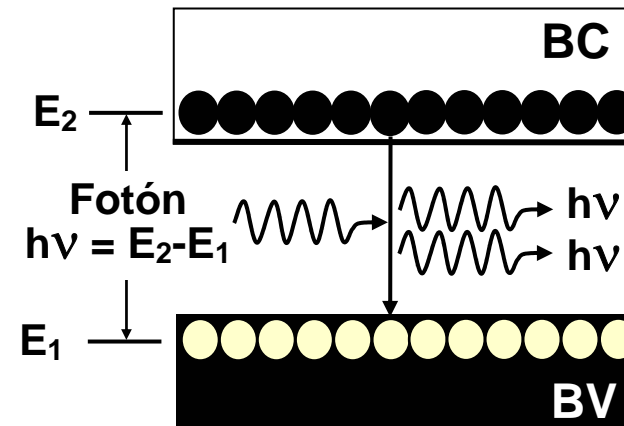
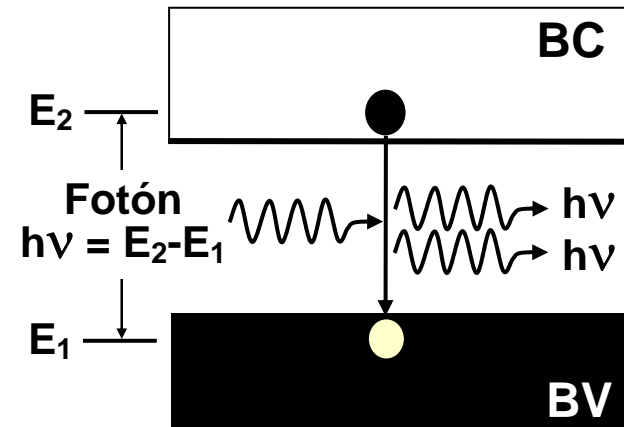
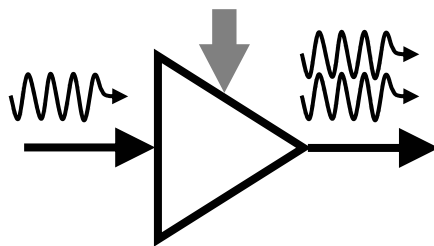
# Consideraciones generales

- Las transiciones en el láser están asociadas con las propiedades del material
- Tamaño compacto (0.1 mm de longitud)
  - Región activa muy estrecha (1 $\mu$ m de espesor)
- Características espaciales y espectrales están influenciadas por el medio
  - Anchura del *gap*,  $E_G$
  - Índices de refracción,  $n$
- Para el láser de unión pn, la acción del láser se produce simplemente por el paso de corriente a través del diodo  $\Rightarrow$  el sistema puede ser modelado fácilmente
  - $\downarrow \tau$ : se reduce el tiempo de recombinación de los  $e^-h^+$
- Muy importantes como fuentes de luz para comunicaciones con fibra óptica (FO)

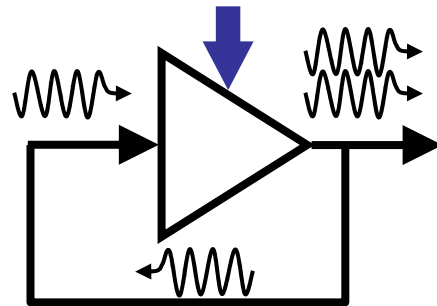


# Fundamentos del LASER

- Emisión estimulada
  - Amplificación de luz
  - Coherencia
  - $\tau$  estimulado  $<$   $\tau$  espontánea
- Inversión de la población
  - Potenciar emisión estimulada sobre la absorción
    - $e^-$  en BC y  $h^+$  en BV

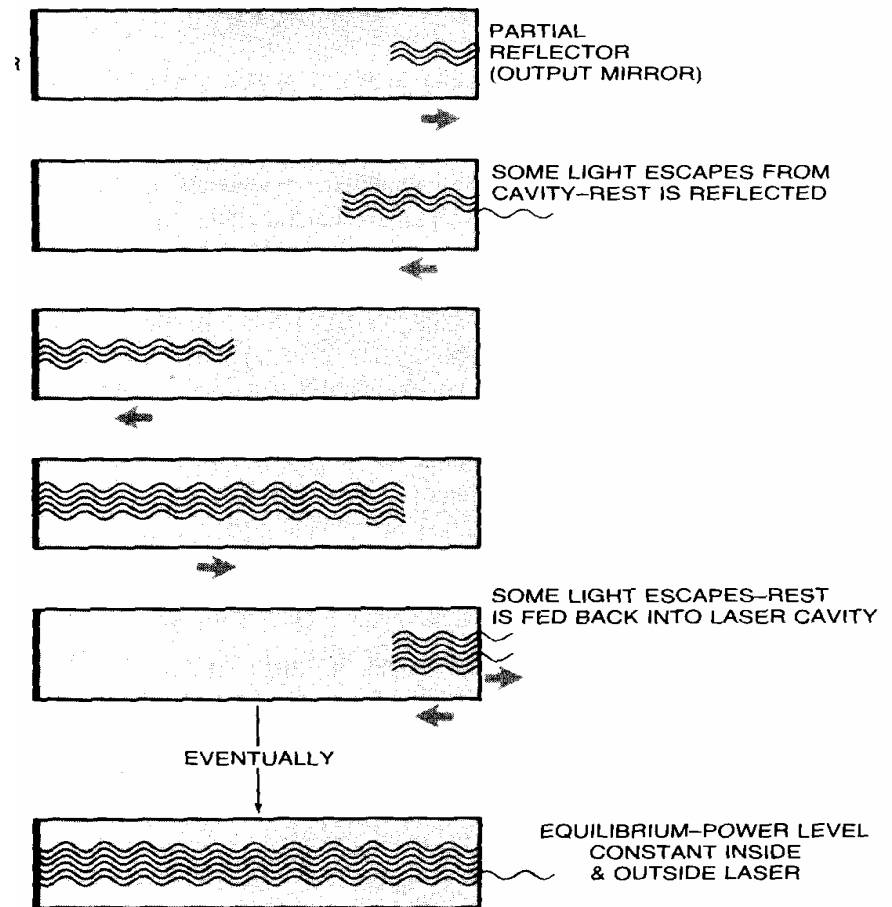


- Amplificador óptico coherente



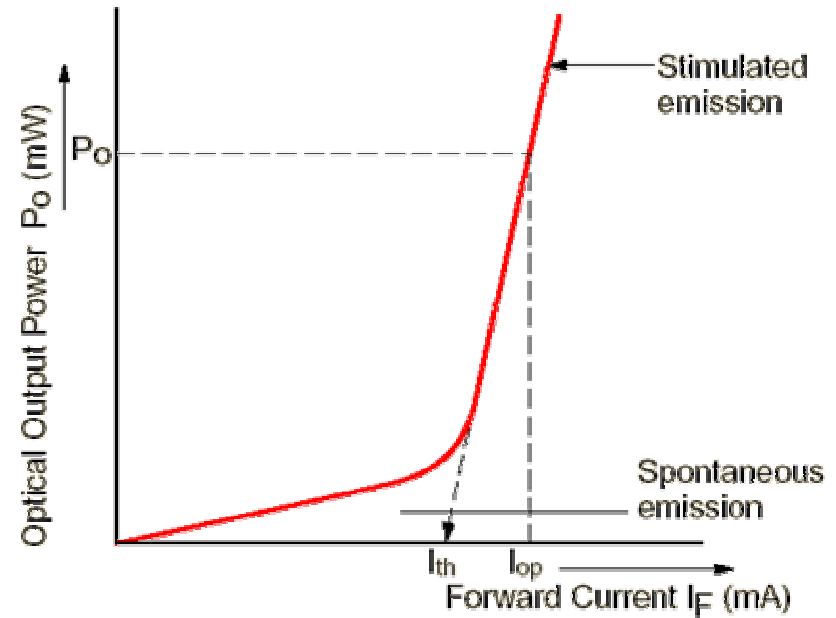
con realimentación óptica

- Cavity resonante
- Inyección umbral



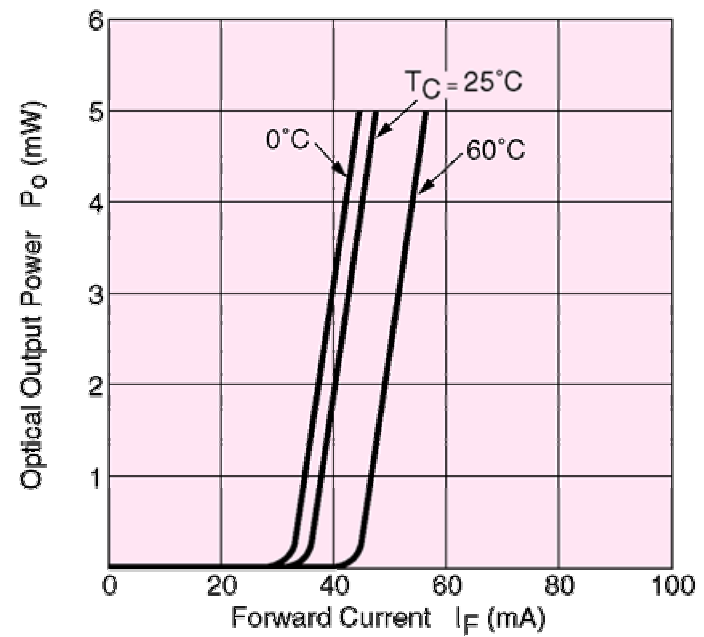
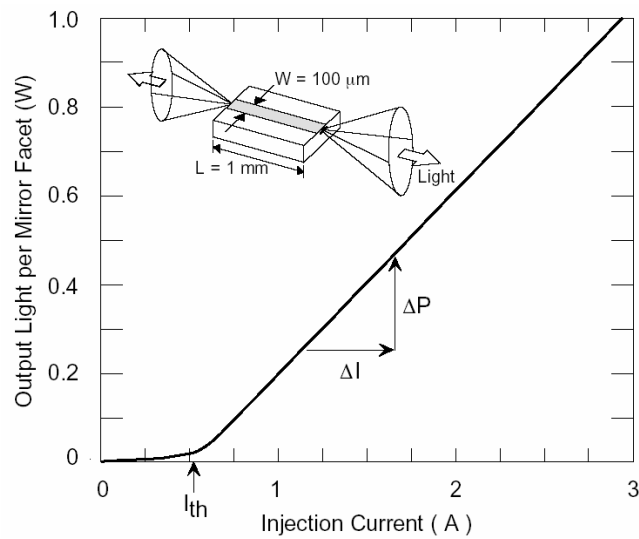
# Funcionamiento

- Corriente umbral
- Eficiencia
- Potencia
- Rapidez
- “Monocromaticidad”
- Estabilidad
- Fiabilidad



# Características eléctricas

- Corriente umbral
- Eficiencia
- Potencia



# Estructura

“Cladding”

p+ , n+

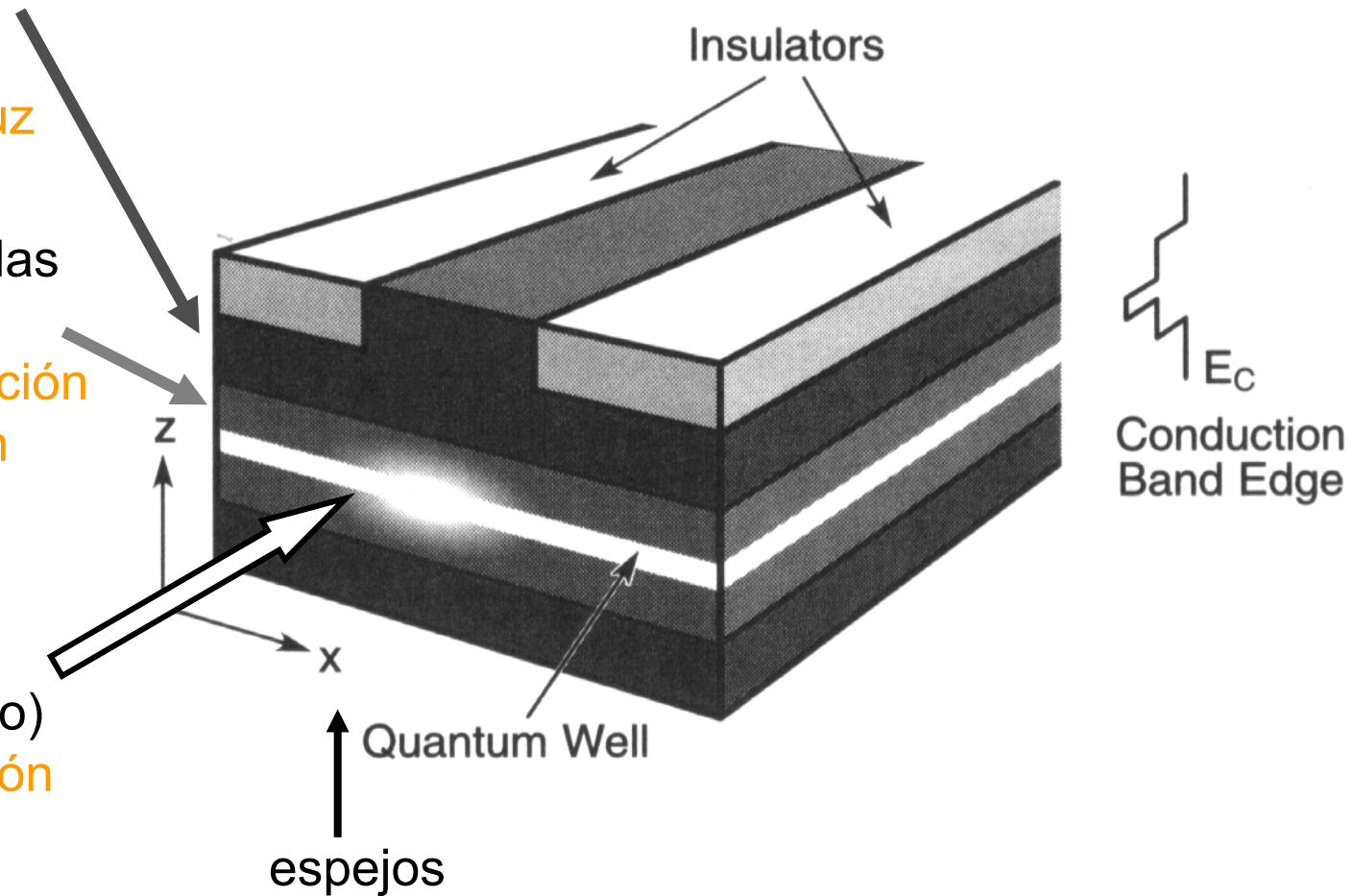
- inyección
- confinar luz

Guía de ondas  
( $n_1 > n_2$ )

- realimentación
- confina e-h

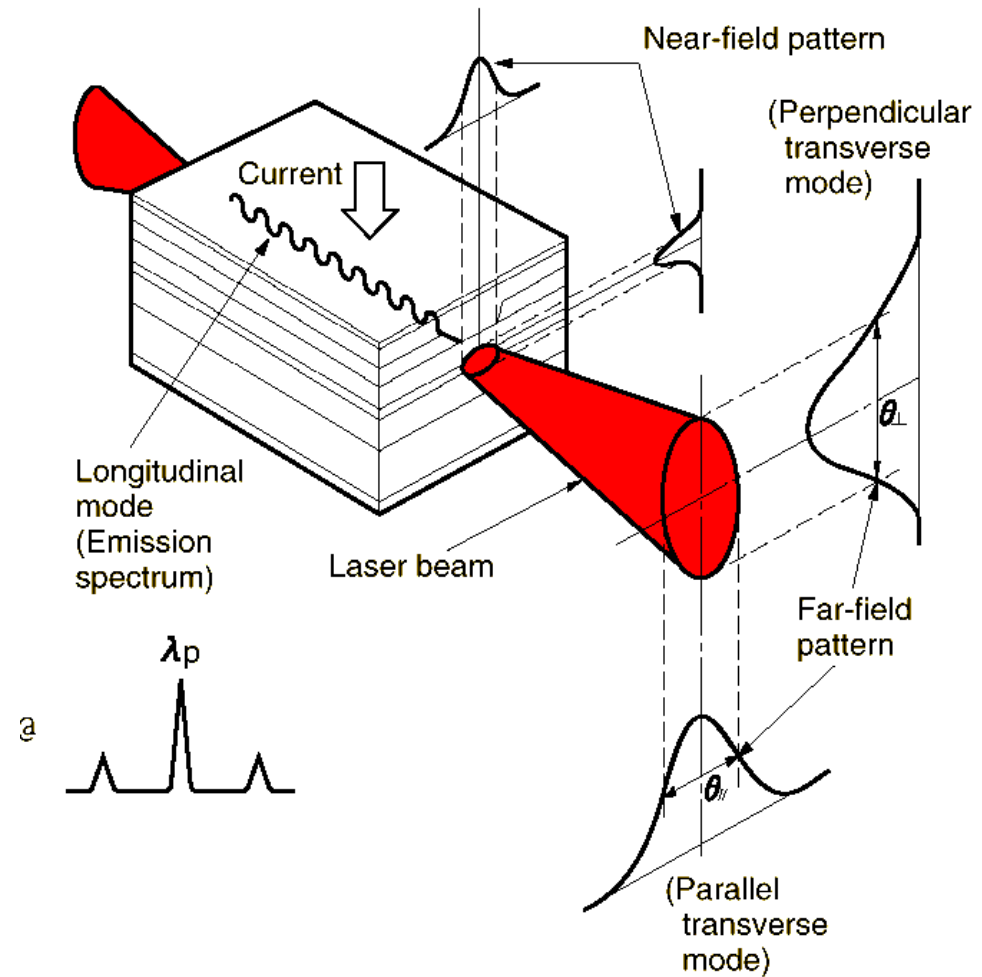
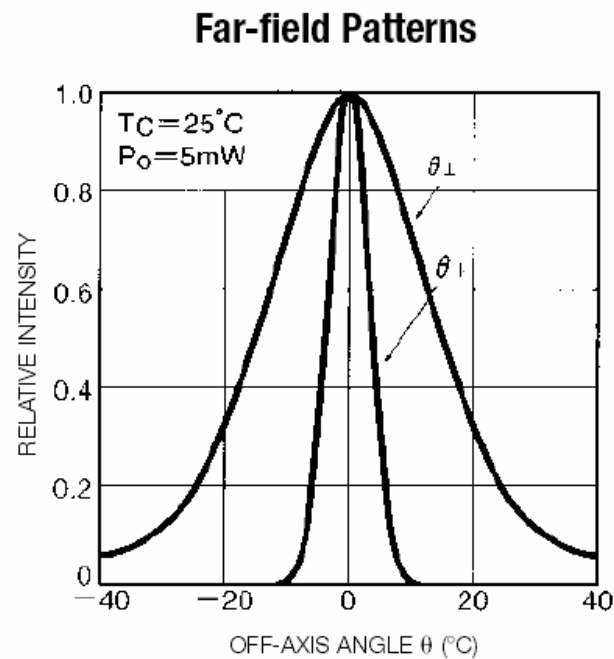
Zona activa  
QW (tensado)

- amplificación



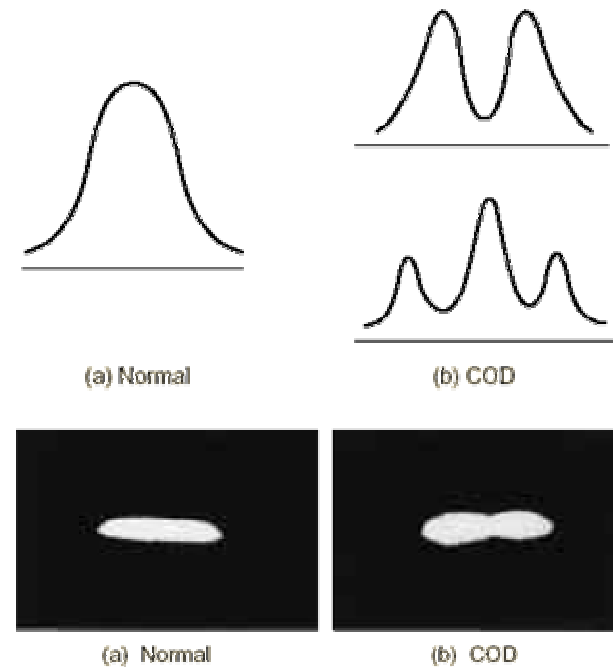
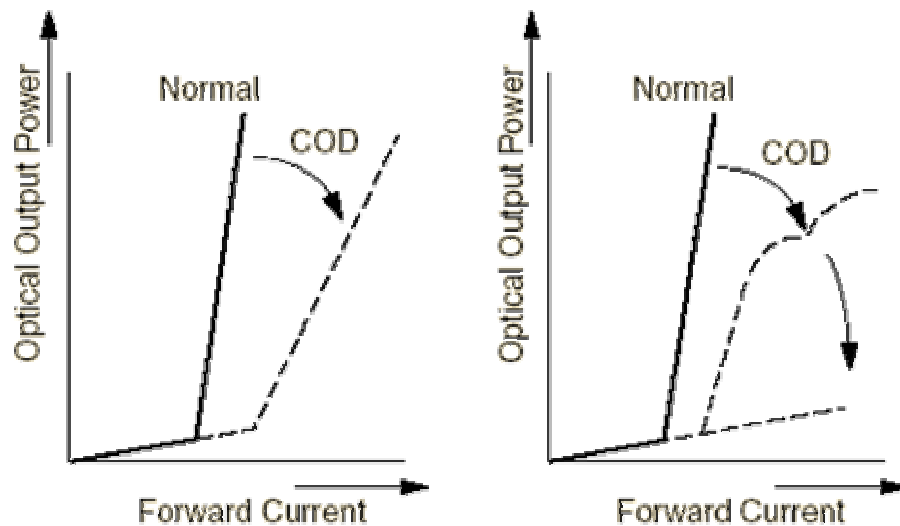
# Diagramas de emisión

- **Campo cercano:**  
confinamiento en la guía
- **Campo lejano:**  
difracción



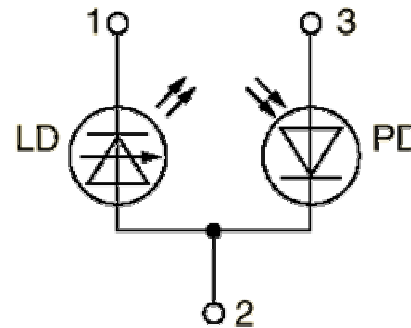
# Fiabilidad

- EOL:  $I_{th}$ ,  $I_{op}$ 
  - Daño óptico catastrófico (COD)
  - Daño gradual
- Causas:
  - $I > I_{max}$ , alta  $T$ ,  $V_R > V_{R,max}$  (electrostático)
  - defectos en el material
- Efectos:  $\uparrow I_{th}$ ,  $\downarrow \eta_d$ , saturación de  $P_{opt}(I_F)$   
diagrama de emisión



# Características técnicas

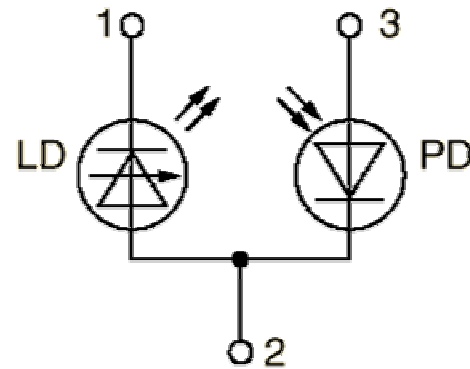
- El fotodiodo se pone para poder medir la **potencia óptica emitida** por el láser
  - La corriente de salida es directamente proporcional a la potencia óptica que le llega  $\Rightarrow$  en cada momento podemos saber la potencia óptica del láser sin interrumpir el haz



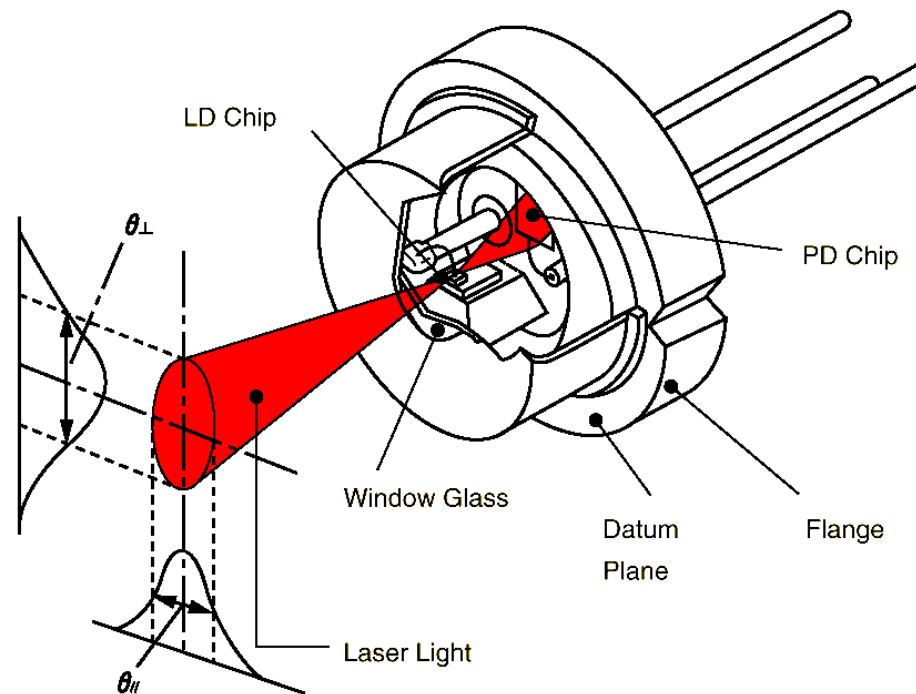
1. Laser diode cathode
2. Laser diode anode  
Photodiode cathode
3. Photodiode anode



# Encapsulado de propósito general



1. Laser diode cathode
2. Laser diode anode  
Photodiode cathode
3. Photodiode anode



# Mapa de los Diodos Láser

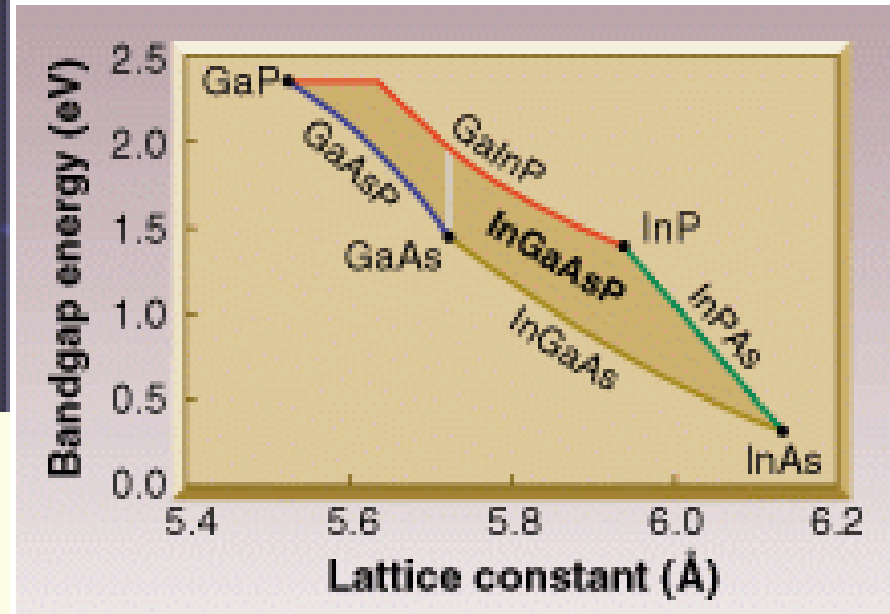
Infrarrojo { 750 - 980 nm baja y alta potencia (AlGaAs)  
1,3 y 1,55  $\mu\text{m}$  altas prestaciones (GaInAs)

Visible: 630- 670 nm baja potencia (GaInP, AlGaInP)

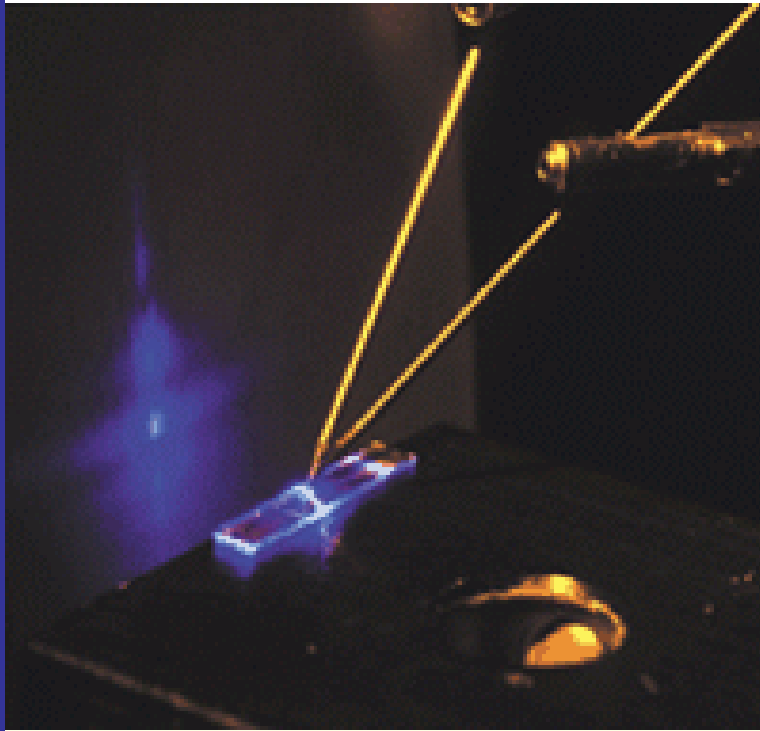
# Primer diodo LASER de GaAs



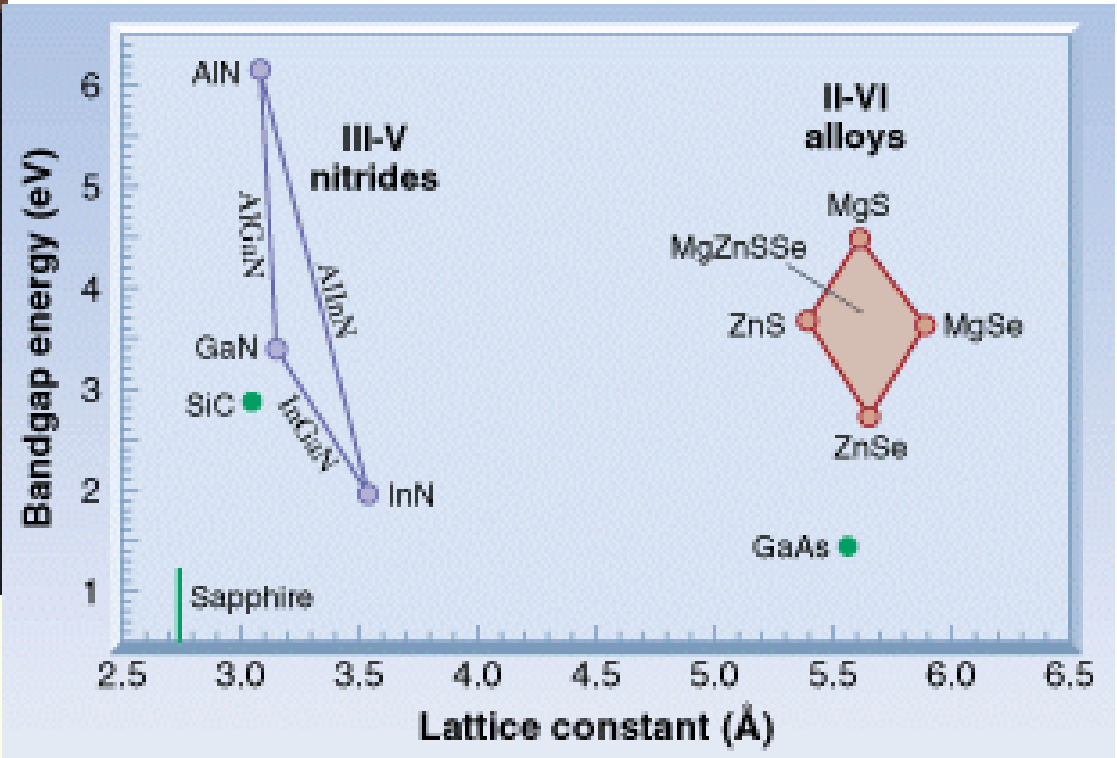
The first gallium aluminum arsenide lasers, photographed in 1962 in the reflected light of their own 676-nm visible output, were pulsed and cooled in liquid nitrogen. It was to be almost 20 years before visible laser diodes could operate reliably at room temperature.



# Diodo LASER GaN



An early GaN blue-emitting diode-laser prototype developed at the University of California at Santa Barbara was pulsed and cryogenically cooled.



# Láseres de AlGaAs: Lectores ópticos

785 nm (rojo-IR)

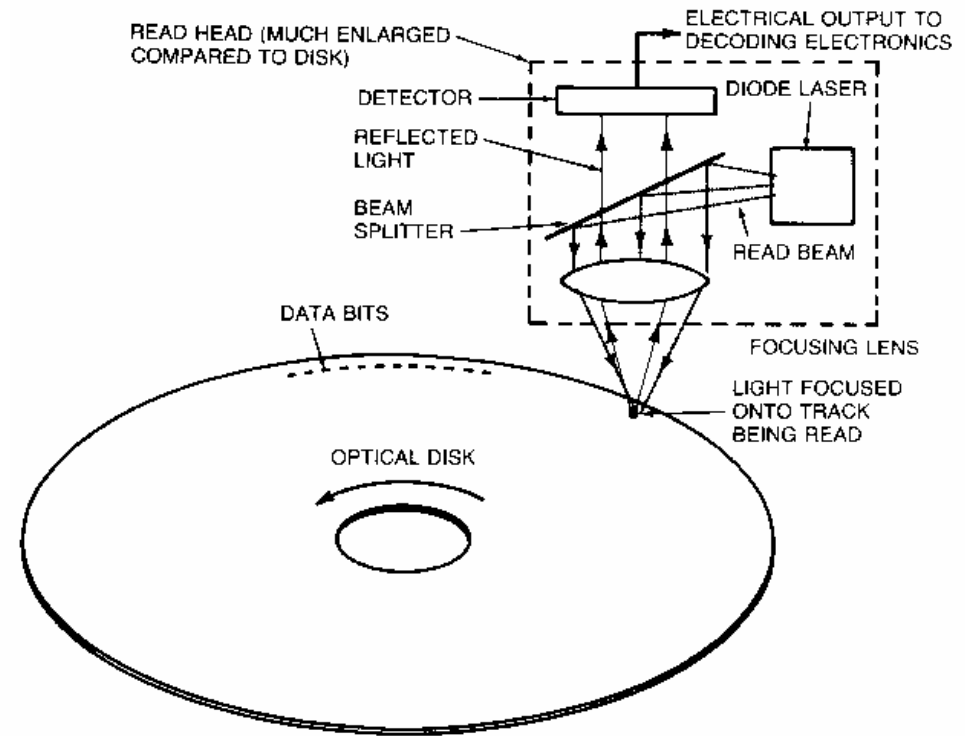
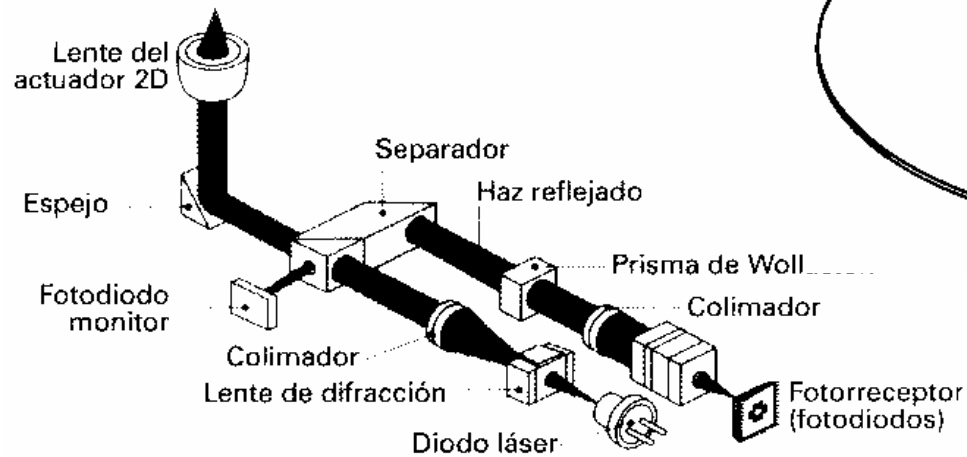
$P=3-5$  mW

Control en potencia

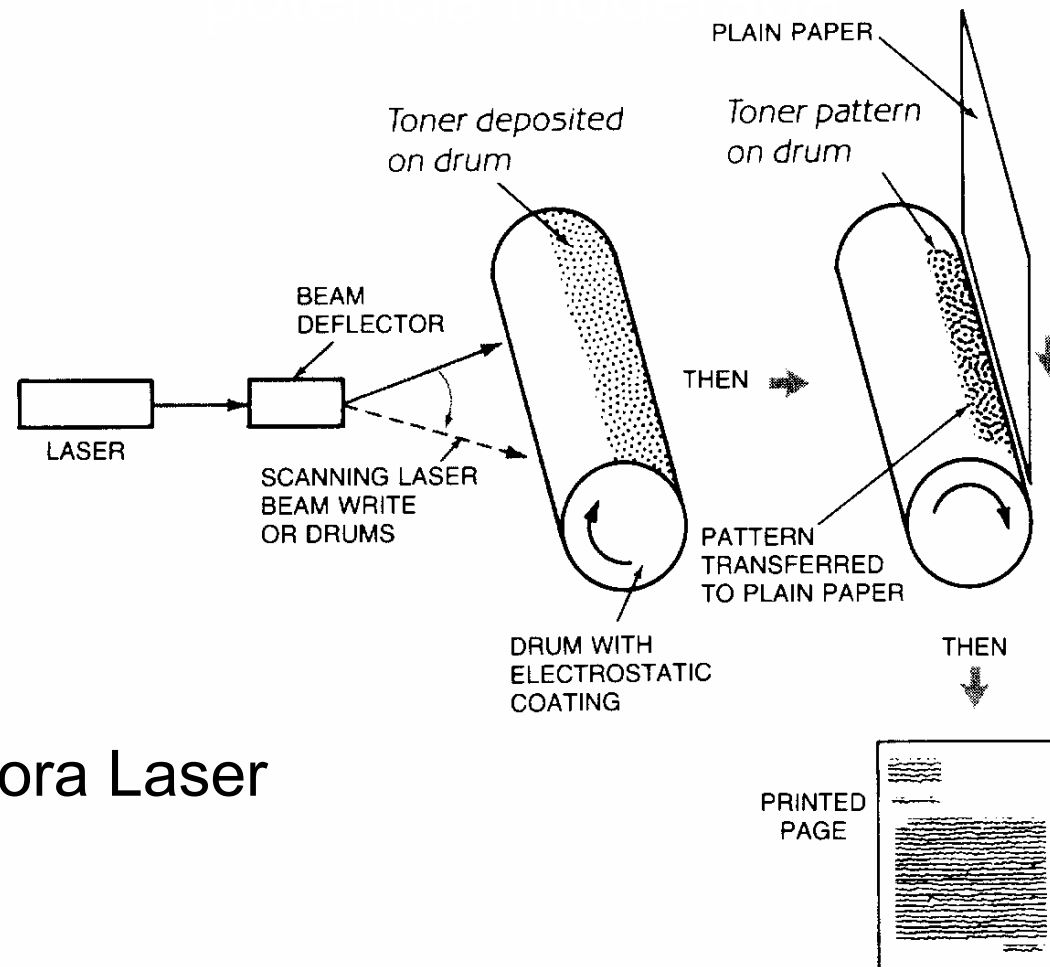
$I_F(\text{normal})= 40-50$  mA

$I_F(\text{defectuoso})= 80$  mA

$LD+PD_{\text{mon}} + \text{óptica} + PD_{\text{slect}}$



# Láseres de AlGaAs de potencia moderada



Impresora Laser

# Láseres de AlGaAs de alta potencia: arrays y stacks

¿ Cuánta  $P_{opt}$  pueden dar ?

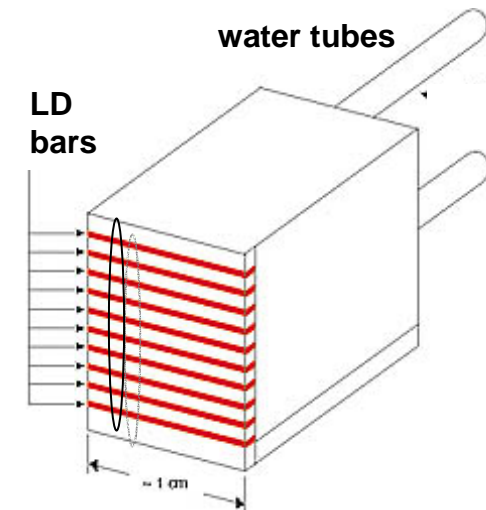
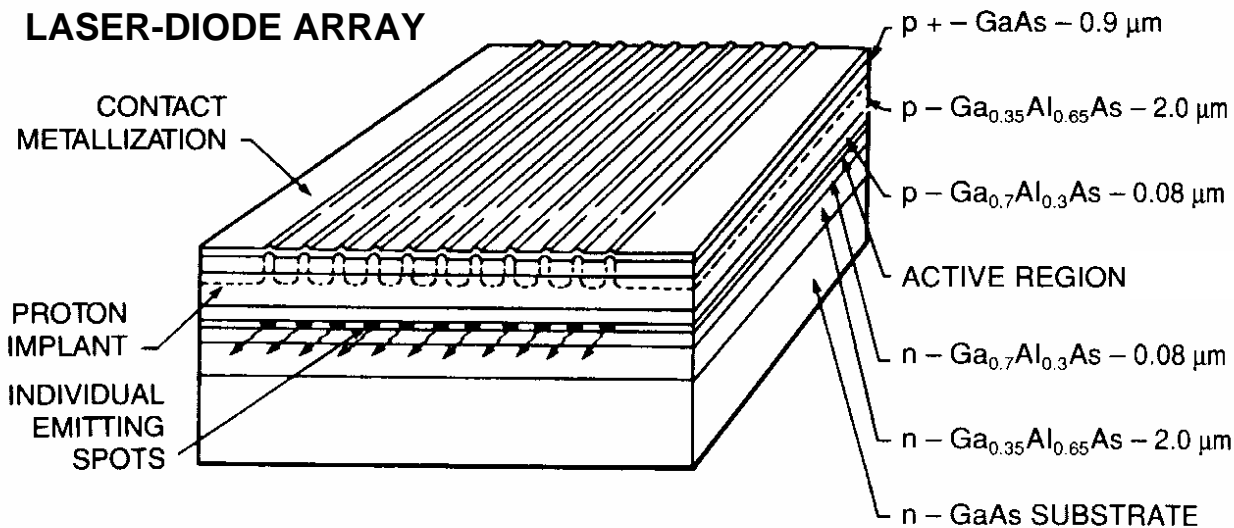
- < 1 W cw a fibra 1mod
- < 10 W cw por tira
- < 100 W cw por "array"
- < 1000 W cw por "stack"

¿ Qué hay que optimizar ?

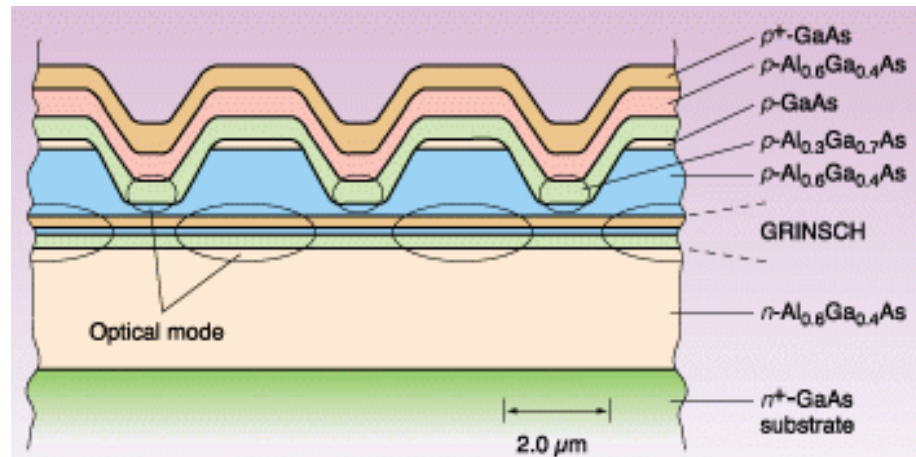
- Estructura (QW tensados,  $r_s \ll \dots$ )
- Fiabilidad (recubrir los espejos)
- Disipación térmica



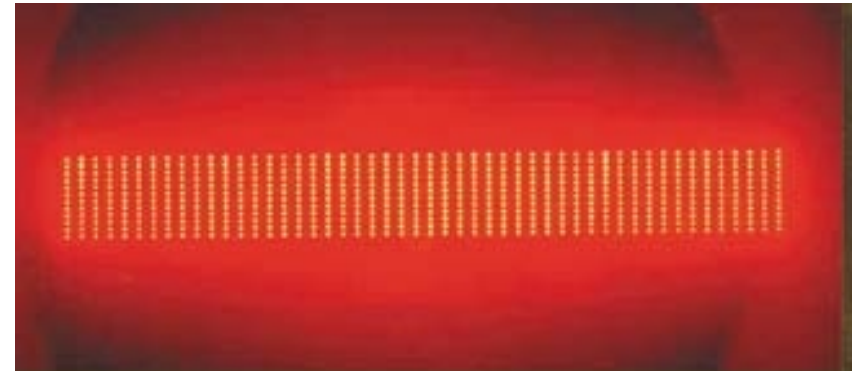
## LASER-DIODE ARRAY



# Diodos láser de alta potencia



**FIGURE 1.** Advanced fabrication, including molecular-beam epitaxy and metal-organic chemical-vapor deposition, allowed the development of single-chip devices featuring multiple-quantum-well structures for each gain region, while providing separate confinement layers for light.

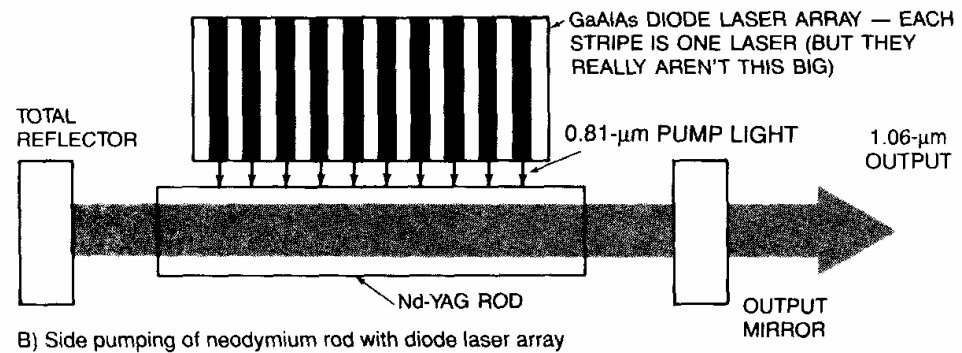


This stack of laser diode arrays is formed from 50 bars, each with 20 emitters, separated by 1.2 mm. Advanced cooling techniques have allowed the development of compact sources that exceed 1 KW in power.

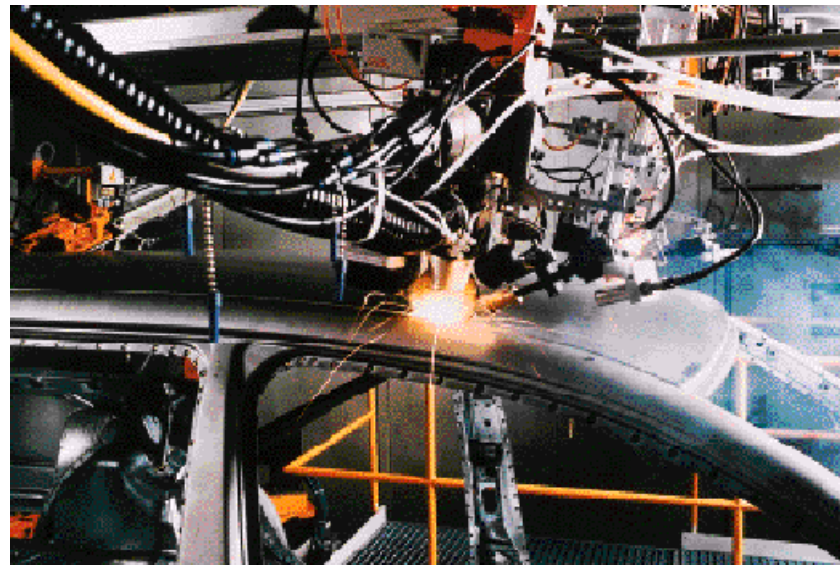


# Aplicaciones de diodos láser de alta potencia

## Bombeo de láseres de estado sólido

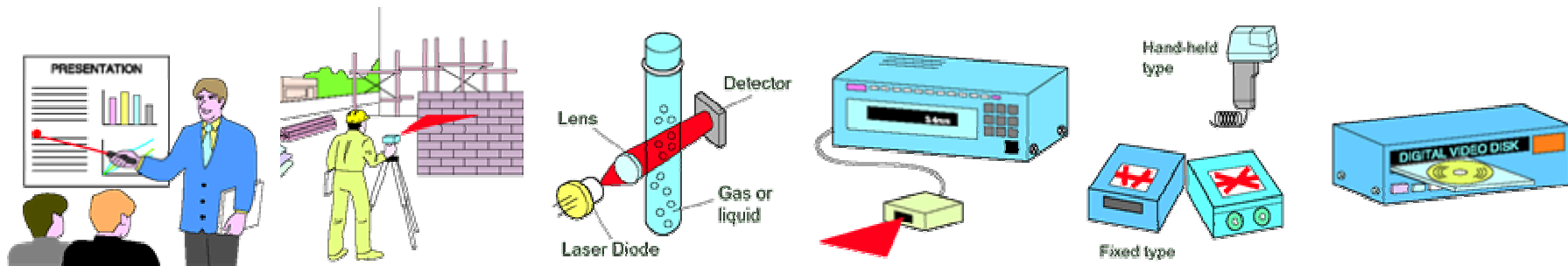


## Aplicaciones industriales

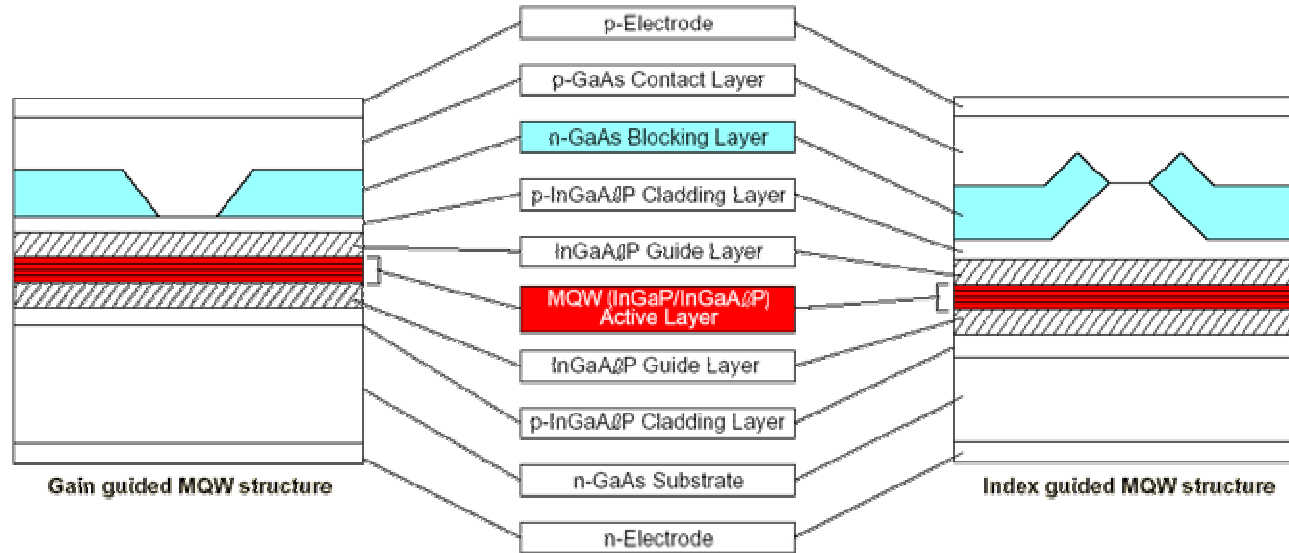
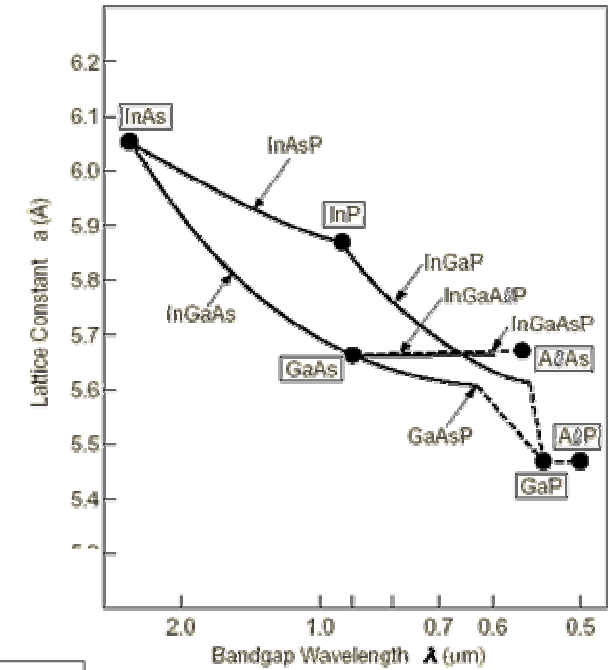
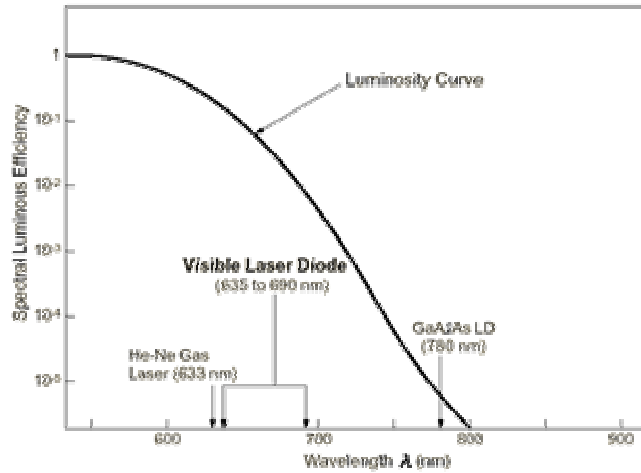


# Diodos láser de visible

- Interés: visible, menor  $\lambda$
- Materiales: GaInP  $\lambda \approx 670$  nm } rojo  
AlGaInP  $\lambda \approx 630$  nm }
- Color:  $V_{630\text{nm}} > V_{670\text{nm}}$
- Aplicación: punteros  
instrumentación  
códigos de barras  
lectores ópticos (DVD)

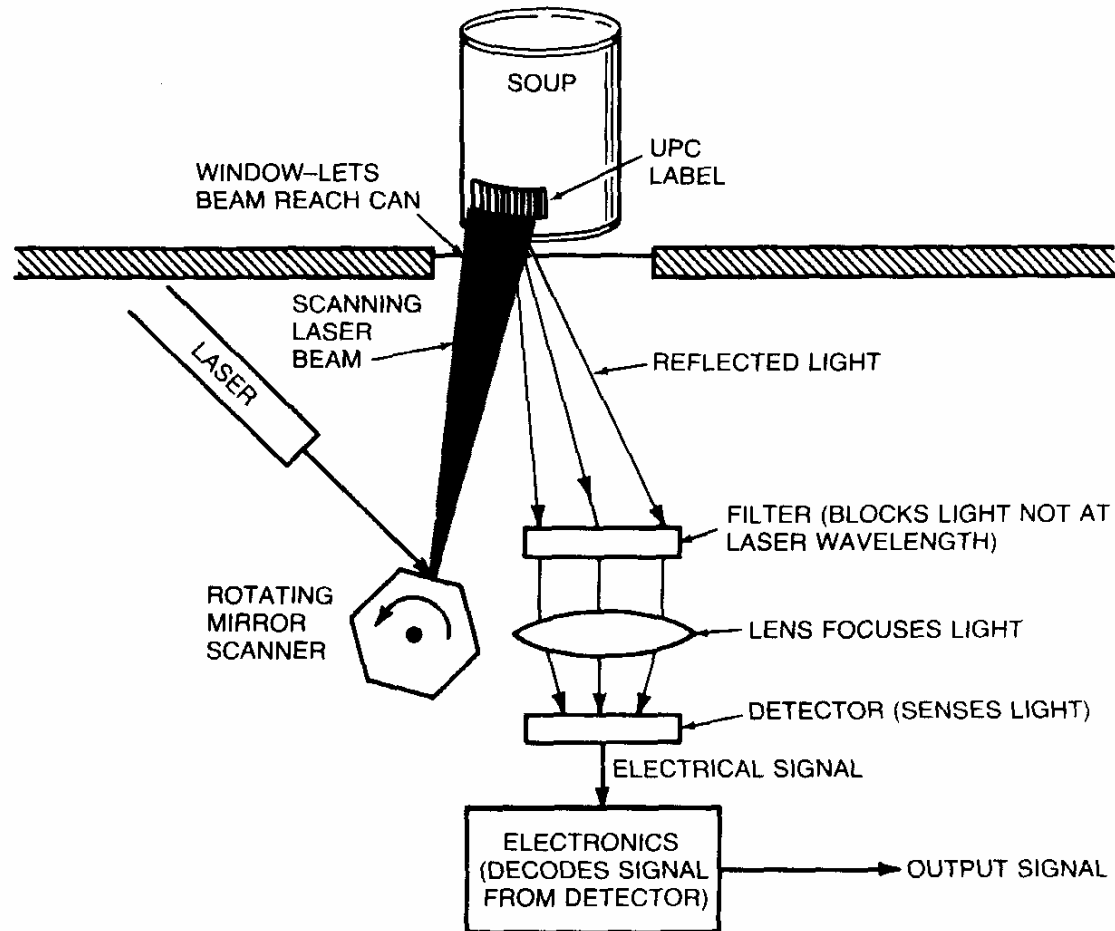


# LD del visible: Tecnología AlGaInP



# Diodo láser de visible

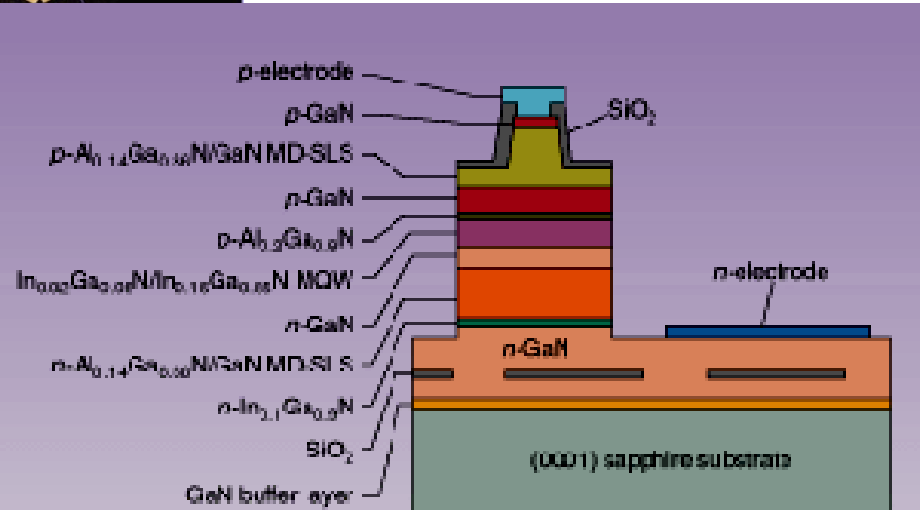
## lectores de códigos de barras



# Láseres violetas GaN

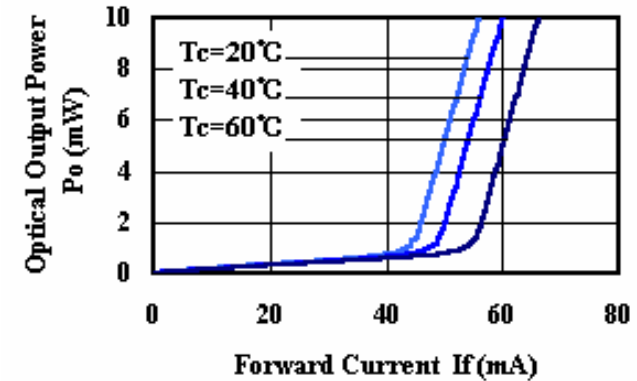
Resultados: Nakamura (1996, 1999)

## Dificultades tecnológicas

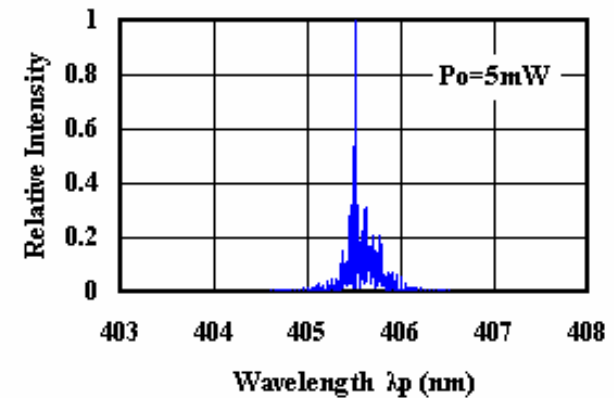


$\lambda_p$	$P_{tip}$	$I_{th}$	$V_F$
0.4 $\mu\text{m}$	5 mW	45 mA	5V

■ Optical Output Power vs. Forward Current



■ Typical Spectrum



## APLICACIONES



- instrumentación científica
- ¿nuevos DVD ?

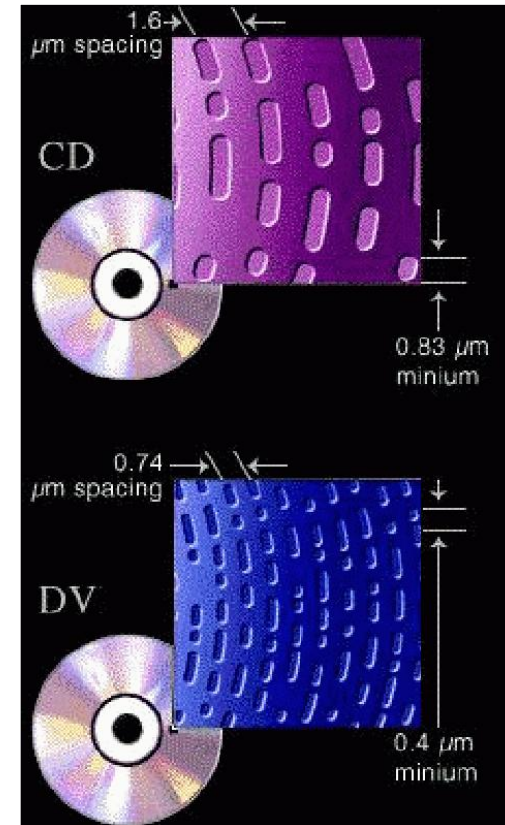
# Diodos láser de visible: DVD



- Dic. 94 Sony y Philips anuncian el MM-CD
- En. 95 Toshiba y otros anuncian el SuperDensity
- Dic.95 Acuerdo: DVD (Digital Versatil Disk)
- Abril 97 Acuerdos sobre protección de copia

## Medio físico:

- Características comunes para DVD-video, audio, ROM, RAM, R, RW
- Mismas dimensiones del CD
- Capacidad: 4.7 Gb por cara y capa 135 min de video a ~5Mb/s

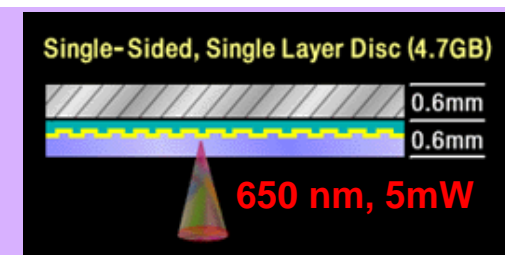


## De donde viene el aumento?

Menor separación:  $\times 4.5$  ( $2.1^2$ )

Menor longitud ( $\downarrow \lambda$ ):  $\times 1.5$

}  $\Rightarrow$  Datos:  $\times 7$



# Diodos láser de visible: DVD



Agosto 2002,

Toshiba y NEC proponen un reproductor grabador de alta definición

Noviembre 03

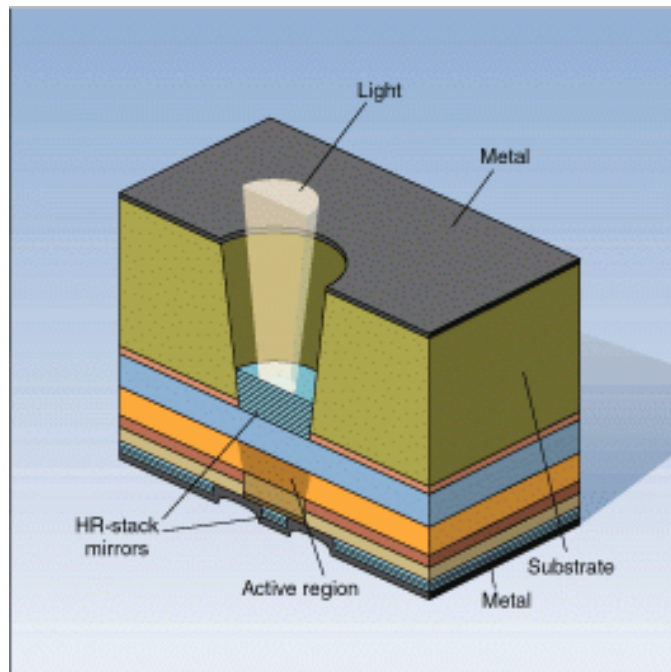
se acepta HD DVD como nueva generación, compatible con los actuales

⇒ Láser azul ⇒  $\downarrow \lambda$  ⇒ puede sensar *pits* de menor longitud

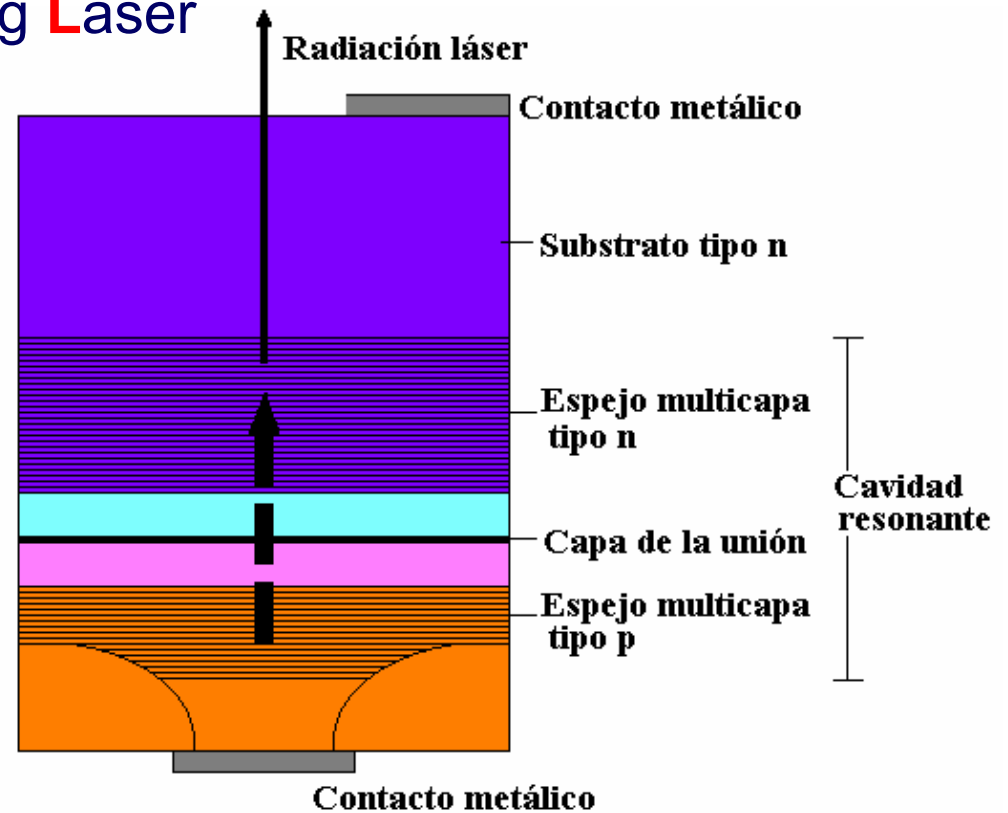
# Láseres de cavidad vertical

## VCSEL:

## Vertical Cavity Surface Emitting Laser



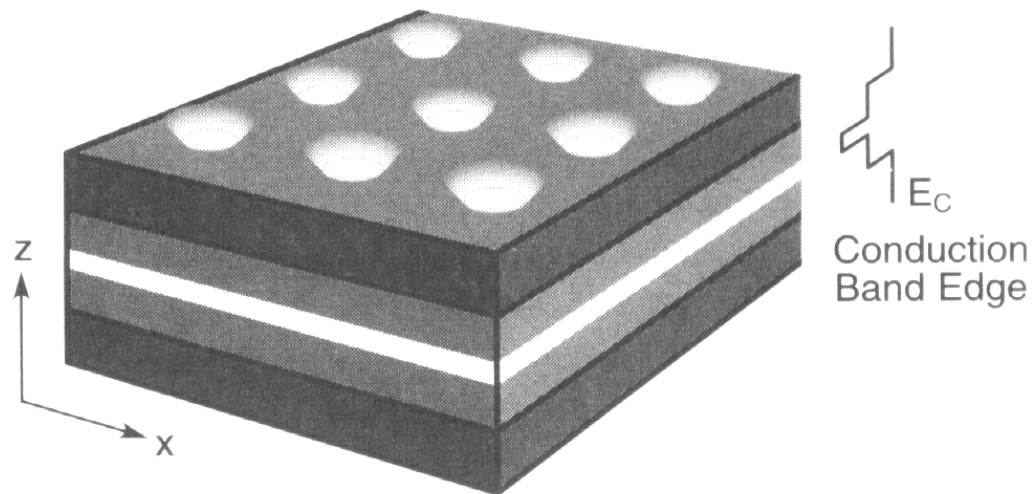
9-FAA-3 98 Fig. 3





# Láseres de cavidad vertical

- Reflectores de Bragg: GaAs/AlAs
- Monomodo
- Haz circular
- Matrices 2D
- Acoplamiento a fibra
- Buses ópticos en 1ª ventana



# LED vs. Diodo LASER

## LED

- Acoplan menos potencia a la FO
- Fabricación más sencilla
- Bajo coste
- Alta fiabilidad
- Potencia poco dependiente de T
- $\lambda$  poco dependiente de T
- Alta linealidad
- Circuitos de control sencillos

## DIODO LÁSER

- Acoplan más potencia a la FO
- Fabricación más compleja
- Alto coste
- Baja fiabilidad
- Potencia dependiente de T
- $\lambda$  dependiente de T
- Baja linealidad
- Circuitos de control complejos