



The Abdus Salam
International Centre for Theoretical Physics

United Nations
Educational, Scientific
and Cultural Organization

International Atomic
Energy Agency

FIRST ICO-ICTP-TWAS Central American Workshop in Lasers, Laser Applications and laser Safety Regulations



M8: Solid State Lasers (SSL) and their Applications Manufacture and Technology of SSL

Prof. Luis V. Ponce
CICATA IPN

INDICE

- De la historia del laser. El primer laser sólido.
- Descripción de un laser estado solido
- Tecnología del medio activo
- Tecnología de espejos
- Medios para beam delivery
- Reflectores
- Fuentes alimentación
- Ejemplos láseres de estado solido.
- Logros y perspectivas

EI MASER

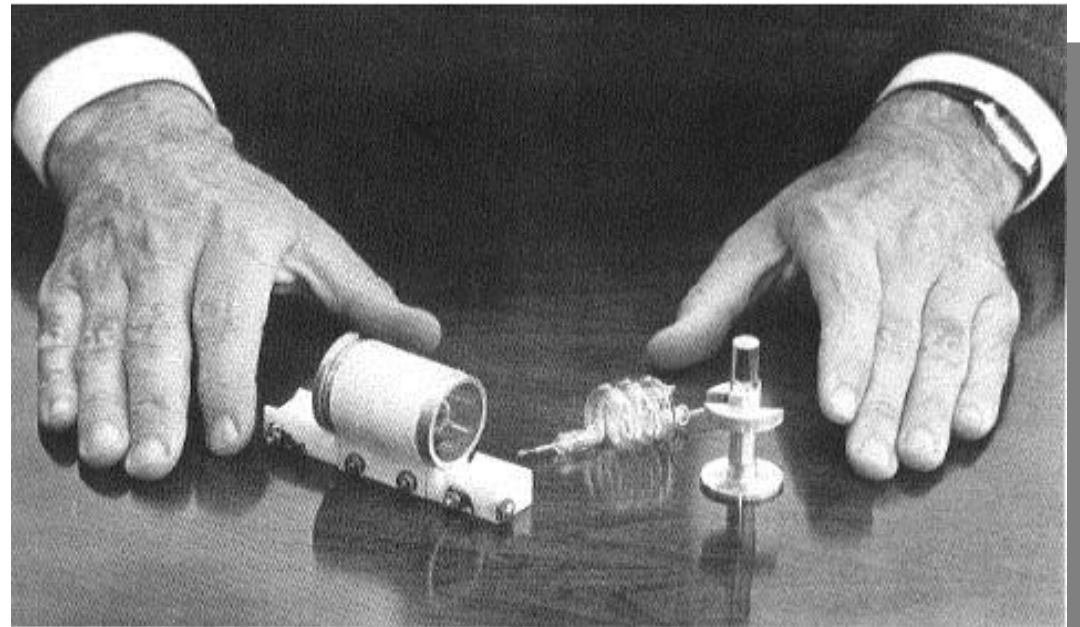


Left to right: Prokhorov, Townes and Basov at the *Lebedev institute* (1964 Nobel prize in Physics for developing the "Maser-Laser principle")

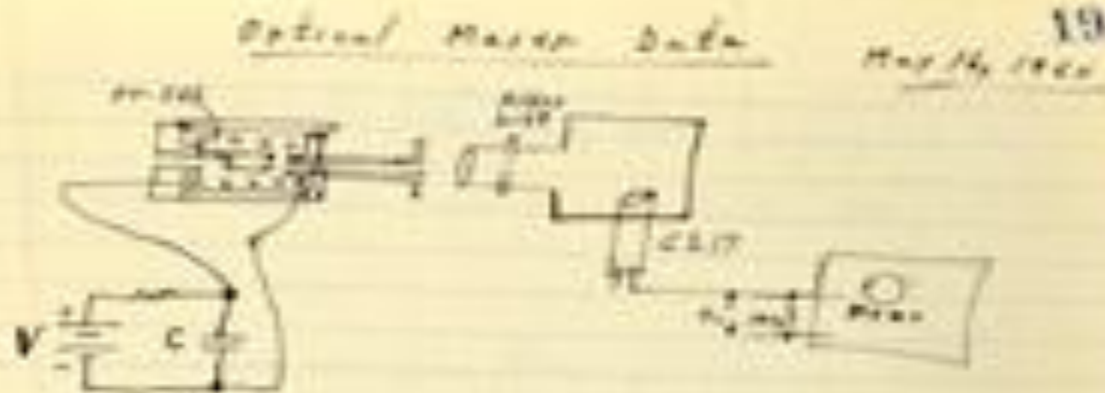
De la historia del laser

- (1951) **V. A. Fabrikant** “*A method for the amplification of electromagnetic radiation (ultraviolet, visible, infrared, and radio waves)*” patented in Soviet Union.
- (1958) **Townes** and **Arthur L. Schawlow**, “*Infrared and Optical Masers,*” Physical Review
- (1958) **Gordon Gould** definition of “Laser” as “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*”
- (1960) **Schawlow** and **Townes**
U. S. Patent No. 2,929,922
- (1960) **Theodore Maiman**, Invention of the first Ruby Laser

Maiman and the first ruby laser



De la colección de Maiman...



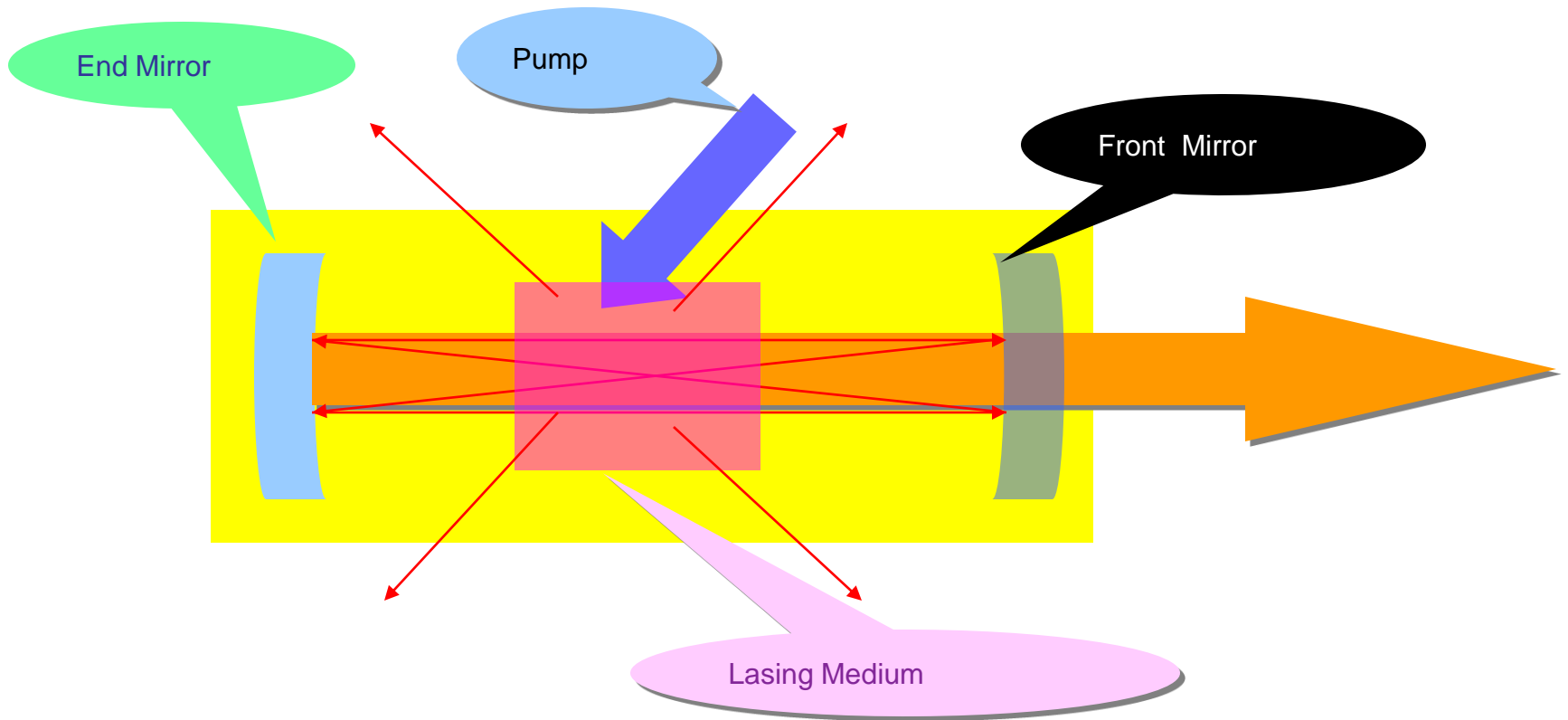
Measurements made at 1000 Hz, set on scales of 0. Photo multiplier at 710V

V	C	$\frac{1}{2} CV^2$	$\frac{1}{2} mv^2$	$\frac{1}{2} mv^2$	Photo multiplier	Photo multiplier	Photo multiplier
800V	875pF	298 mJ	20 mV	5 mm	100		
950V	775pF	395 mJ	35 mV	4 mm	140		
1075	675	500 mJ	61 mV	2.8 mm	171		
1150	675	575 mJ	85 mV	2.1 mm	178		
1240	675	670 mJ	135 mV	1.6 mm	208		
1320	675	755	240 mV	1.1 mm	265		
1330	675	770	310 mV	1.0 mm	315		
1200	1750	1250	330 mV	1.2 mm	395		
1200	1750	1870	590 mV	1.0 mm	461		

De la colección de Maiman...



The laser Structure



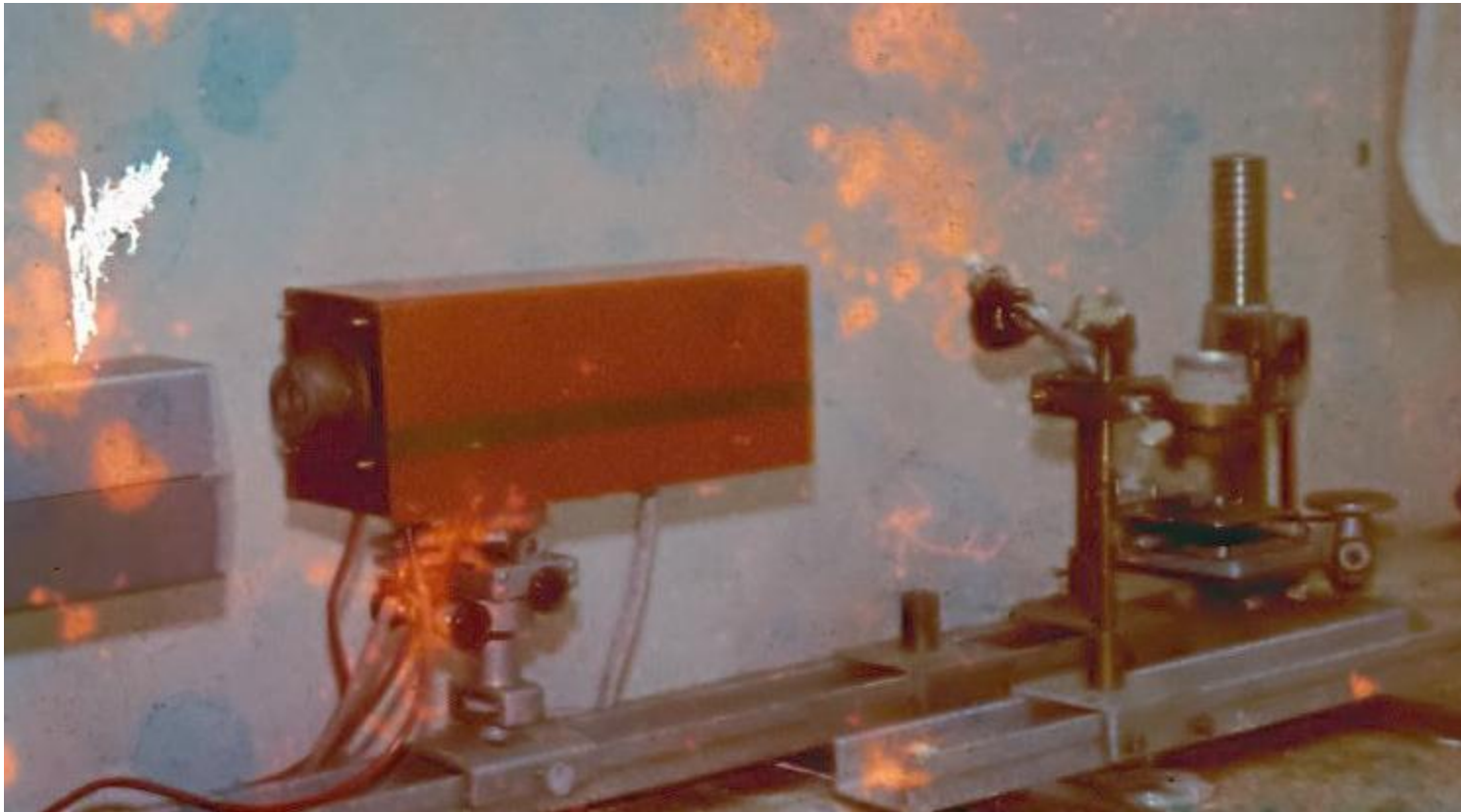
Propiedades del laser

- Es monocromatico
- Puede enfocarse en un punto muy pequeño
- Tiene elevada intensidad
- Es coherente
- Tiene una divergencia angular muy reducida
- Puede comprimirse temporalmente

Applications of Laser

- (1960s) “A solution looking for a problem”
- (Present time) Medicine, Research, Supermarkets, Entertainment, Industry, Military, Communication, Art, Information technology, ...

Primer laser de Nd Cuba, 1985

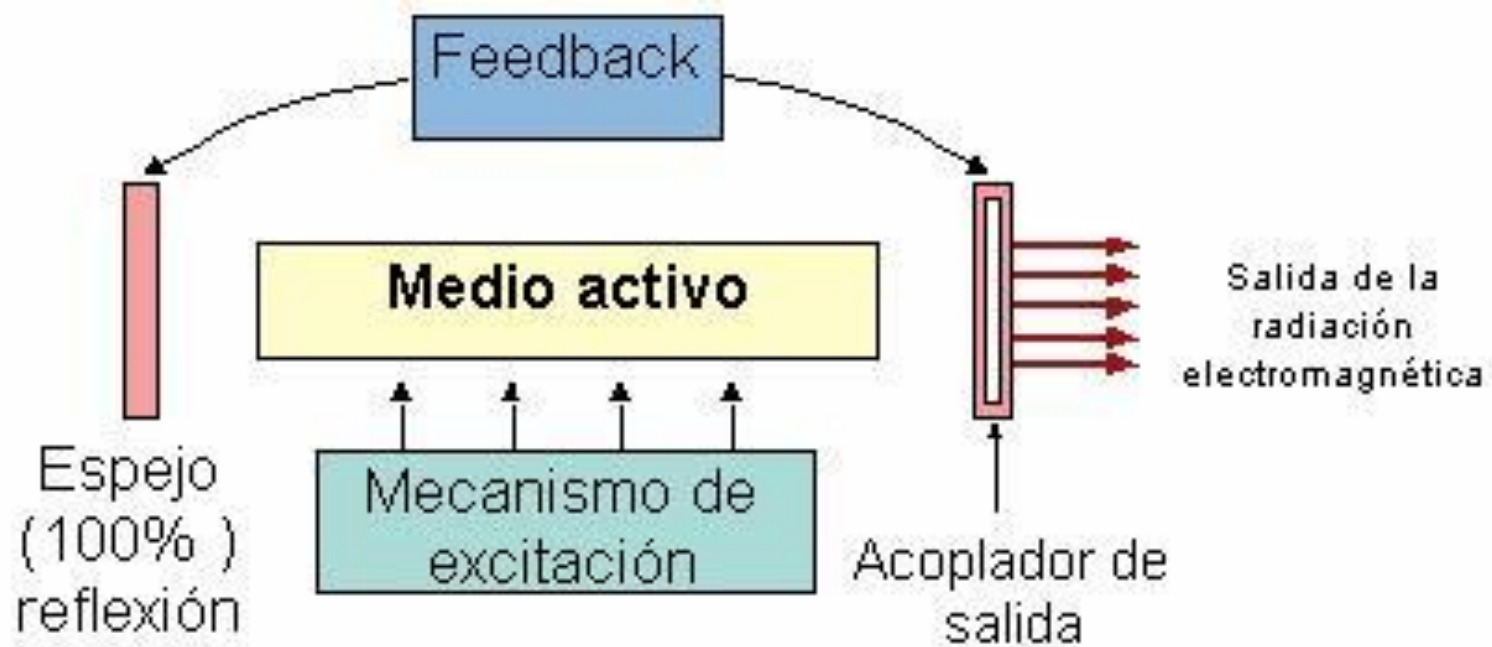


Laser de Nd-vidrio energía 1 julio

Estructura del medio activo en el Láser de Estado Sólido

El medio activo es un material sólido, en el cuál se insertan impurezas iónicas.

Estas impurezas reemplazan átomos de la matriz sólida, y los niveles de energía que participan en el proceso láser pertenecen a las impurezas de iones.



Bombeo óptico

El amplio espectro de absorción de los sólidos permite el bombeo del medio activo con una fuente de luz "convencional", que tiene un amplio espectro de emisión.

En bombeo óptico se usan dos tipos de fuentes electromagnéticas :

Fuente de espectro electromagnético de banda ancha - como las lámparas de flash, lámparas incandescentes, lámparas de arco, etc.

Fuente de espectro electromagnético de banda estrecha - otros láseres.

Láseres de Estado Sólido Bombeados Ópticamente

El medio activo en estos láseres es un cristal o vidrio.

La forma del medio activo en estos láseres es normalmente una barra con sección circular o cuadrada.

El haz bombeado normalmente entra en el medio activo a través del área superficial a lo largo de la barra, mientras que la radiación láser se emite a lo largo de los extremos de la barra. Los extremos de la barra habitualmente están en ángulo recto con el eje de la barra, y están pulidos ópticamente.

Los láseres de estado sólido emiten radiación tanto en modo pulsado como en modo continuo.

Las lámparas de bombeo para láseres pulsados son normalmente lámparas de flash de Xenon (o Kriptón)

Láseres de Estado Sólido Bombeados por Láseres de Diodo (DPSSL).

En lugar de una fuente de bombeo de amplio espectro, se usan Láseres de Diodo como fuente de excitación. La longitud de onda en estos láseres de diodo se puede ajustar para coincidir con el espectro de absorción del medio activo.

Estos láseres de diodo son fuentes de excitación muy eficaces, y casi toda la luz se absorbe por el medio activo. Por lo tanto, se pierde muy poca energía (convertida en calor no deseado).

Estos láseres de estado sólido que son bombeados por láseres de diodo son llamados : " Diode Pumped Solid State Lasers" (DPSSL).

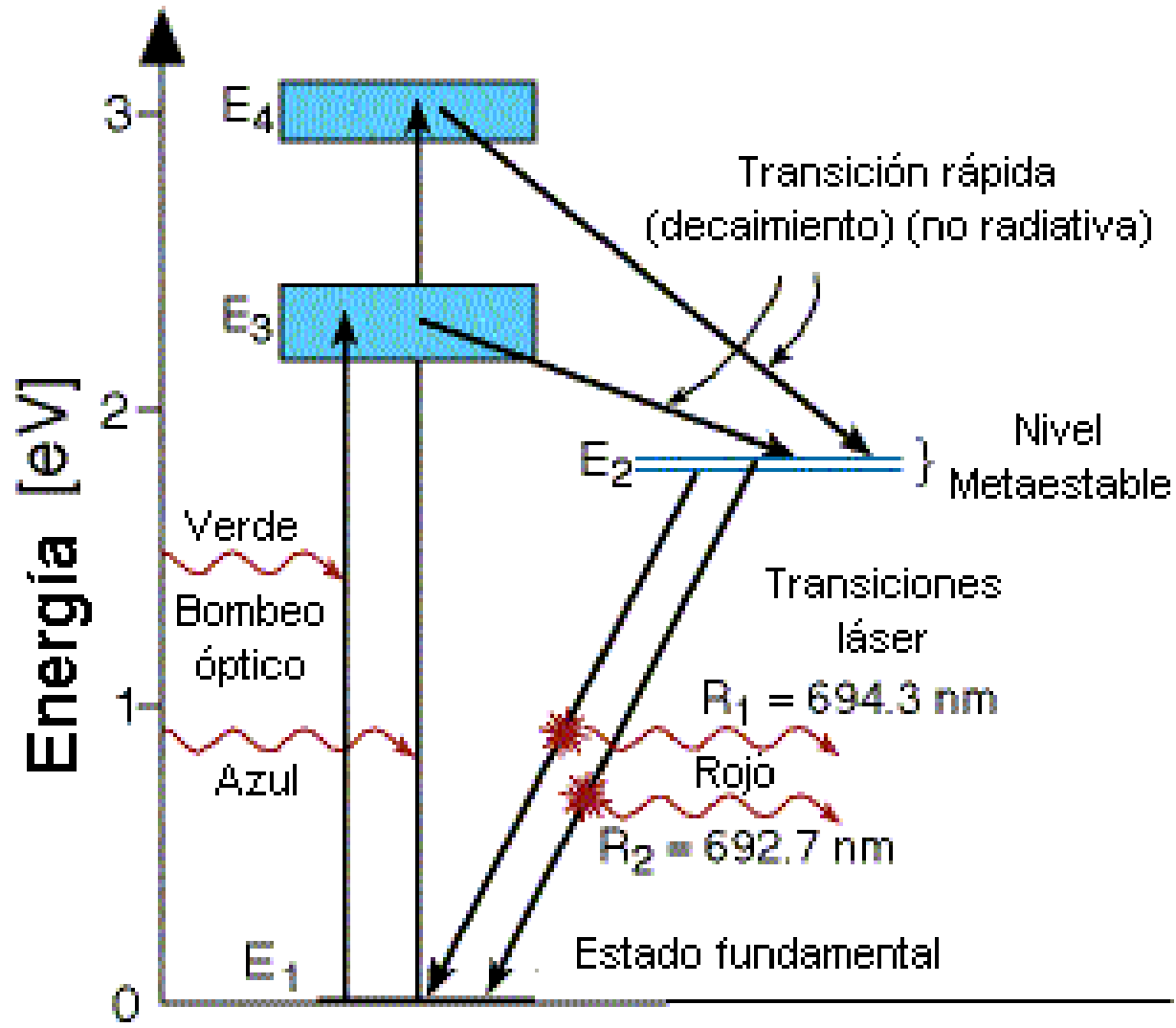
Láser de Rubí

El láser de Rubí fué el primer láser hecho por el hombre, que fue construido por Theodore Maiman en 1960.

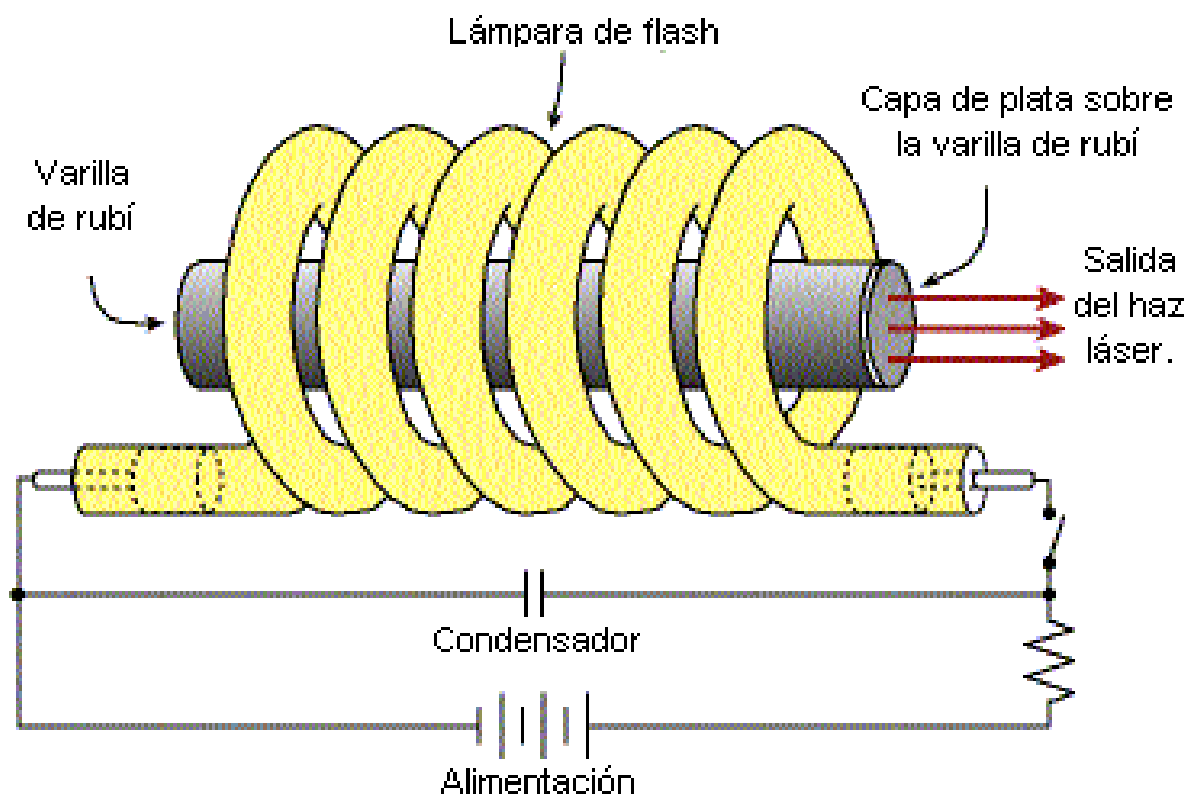
El Rubí es un cristal sintético de Óxido de Aluminio (Al_2O_3), y es más familiar en la vida cotidiana como una piedra preciosa para joyería.

La estructura química del Rubí está compuesta de Al_2O_3 (que es llamado Zafiro), impurificada con alrededor del 0.05% (en peso) de iones Cromo (Cr^{+3}).

El ión activo es el Cr^{+3} , el cuál reemplaza átomos de Al en el cristal. Este ión es la causa el color rojo del cristal. La impureza del ión Cr^{+3} es responsable de los niveles de energía que participan en el proceso láser.



Funcionamiento del Láser de Rubí



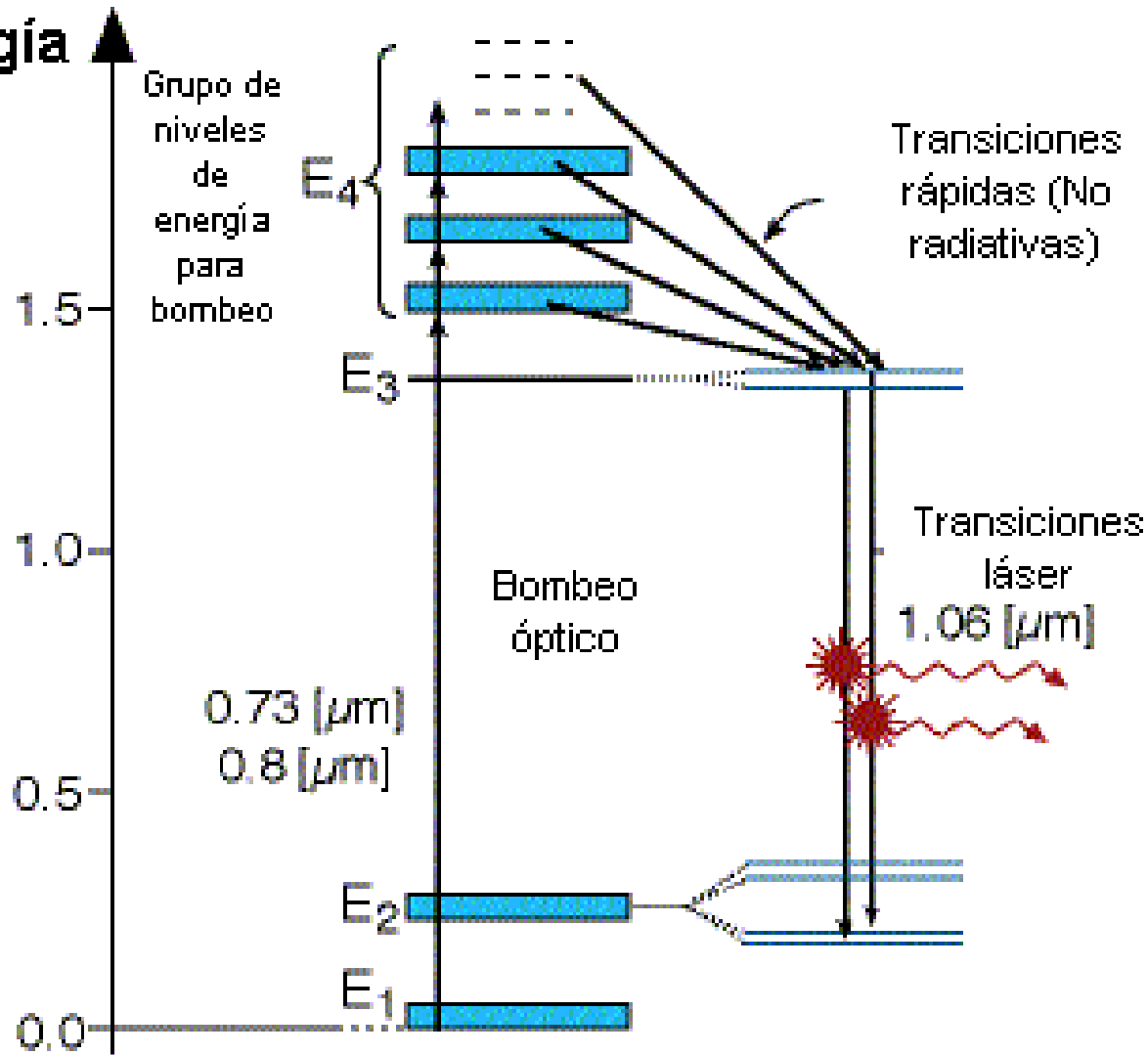
Láser de Nd

En el láser de Nd, los iones Nd^{+3} (como impurezas en un pequeño porcentaje en peso) están reemplazando los átomos de la matriz sólida en el medio activo.

Hay tres matrices sólidas conocidas que se usan en el láser de Nd, donde los iones de Nd^{+3} se añaden como impurezas :

- Vidrio.
- YAG (Yttrium Aluminum Garnet) (cristal de Ytrio, Aluminio y granate).
- YLF cristal de (LiYF_4) .

Energía [eV]



Láser de Nd, ventajas

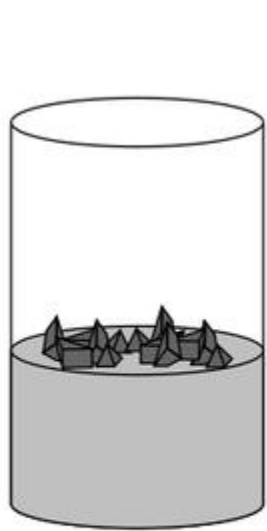
- Variedad de regímenes de explotación
- Eficiencia hasta 4-5 %
- Amplio uso en industria, medicina y aplicaciones militares

Obtención de cristales laser

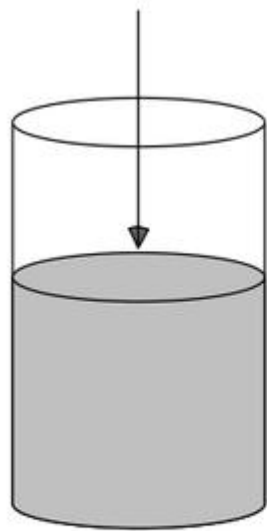
Requisitos:

- Elevada calidad y transparencia
- Buenas cualidades térmicas
- Dopaje controlado y homogéneo
- Orientación adecuada y pulido de las caras

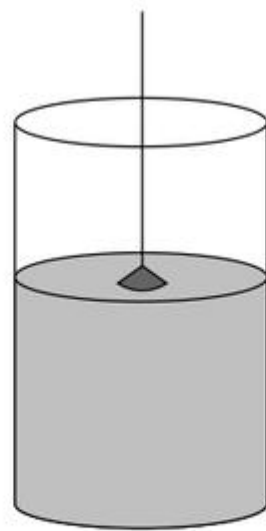
Obtención de cristales laser



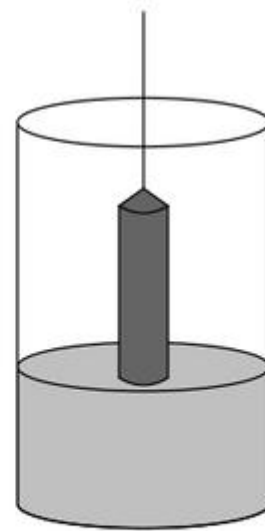
Fundición del semiconductor, dopaje



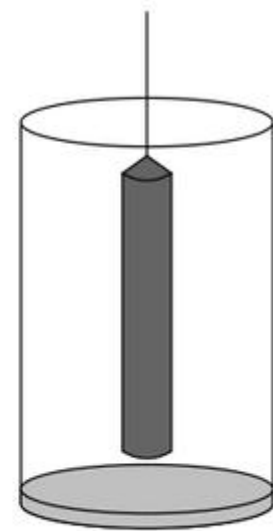
Introducción de la semilla del cristal



Inicio del crecimiento del grano cristalino



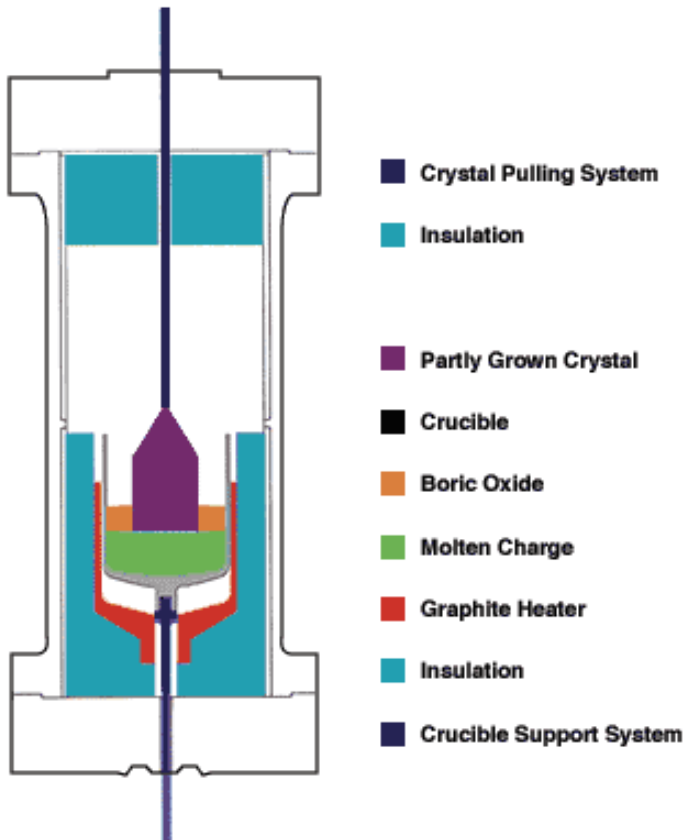
Ascenso del monocristal



Cristal formado con residuo líquido

Obtención de cristales laser

Czochralski Crystal Growth System



Detalles tecnológicos

- Preparación del material
- Elevado consumo energético
- Temperaturas hasta 2000 C
- Bajas velocidades de crecimiento (1 mm/h)
- Crisoles de Iridio
- Control de extracción y rotación del lingote
- Orientación y corte del cristal
- Pulido de las caras con precisión $\lambda/20$

Instalaciones



Alternativa: Policristales obtenidos en base a nanopolvos

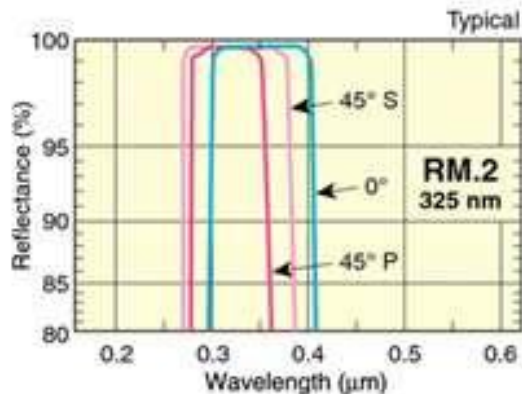
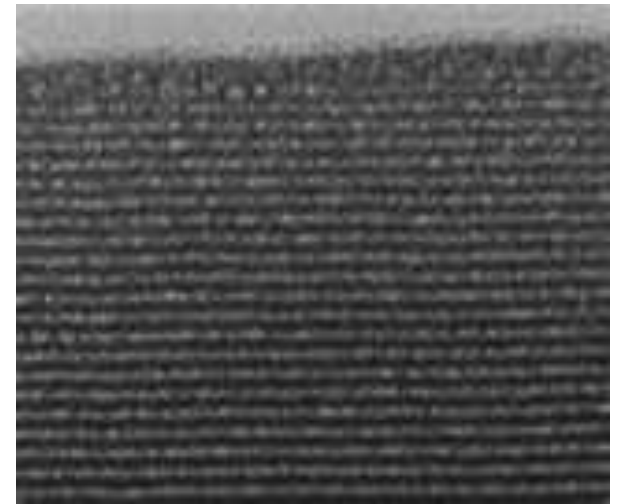
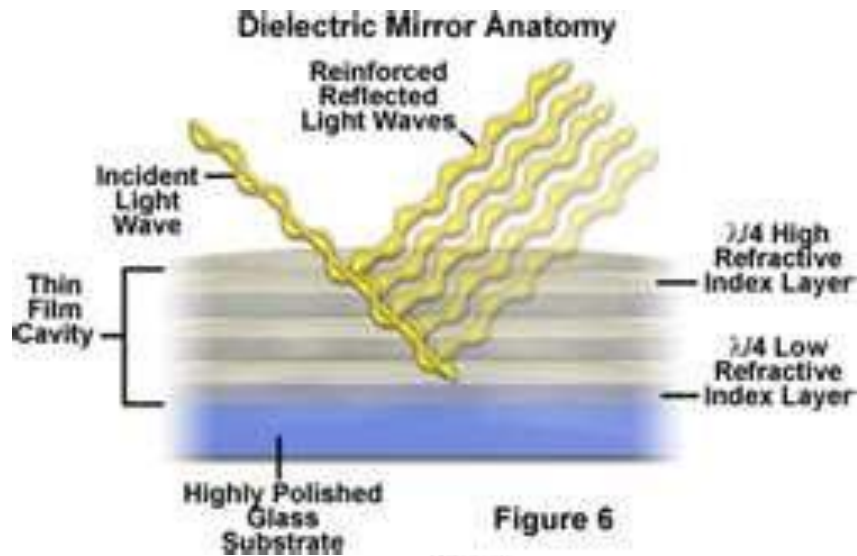
- Fáciles de fabricar.
 - Menor costo.
 - Factibles de producir en gran escala.
 - Altas concentraciones de iones activos.
 - Mejores propiedades mecánicas.
 - Mejores propiedades térmicas.
-
- Dificultad: Lograr buena transparencia y buenas propiedades térmicas

Espejos laser

- Metálicos
- Dieléctricos

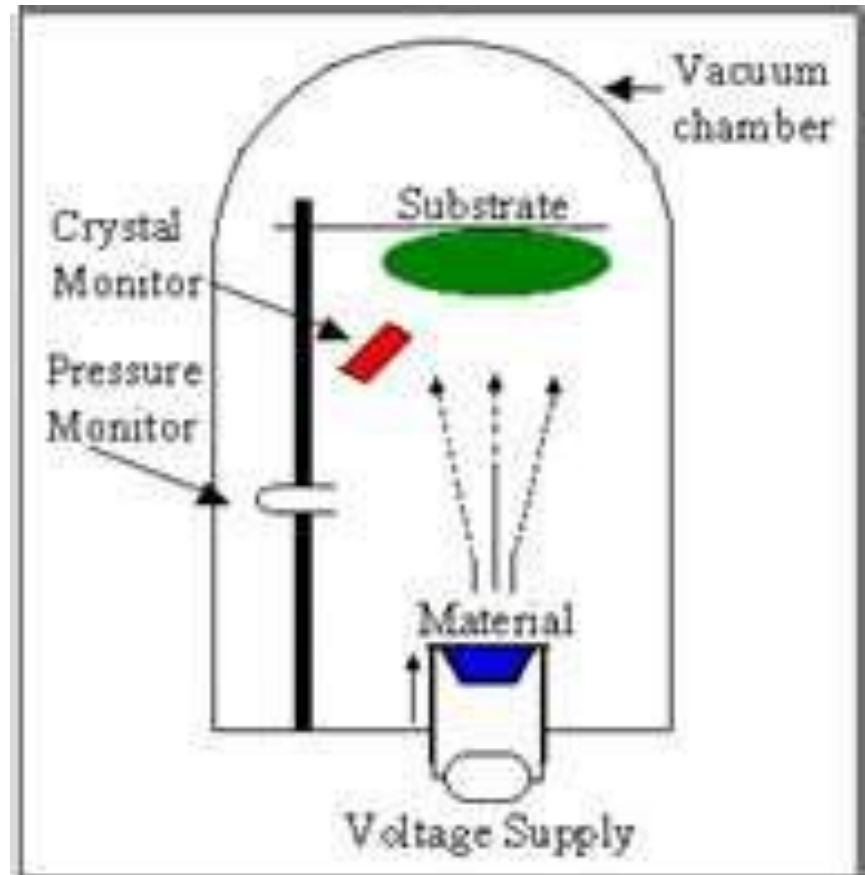


Espejos dieléctricos multicapa



- Espesor de cada capa $\lambda/4$ (rango nm)
- Se alternan capas de alto y bajo índice refracción
- Mayor número de capas consigue mayor
- Reflectancia
- Substrato pulido alta calidad

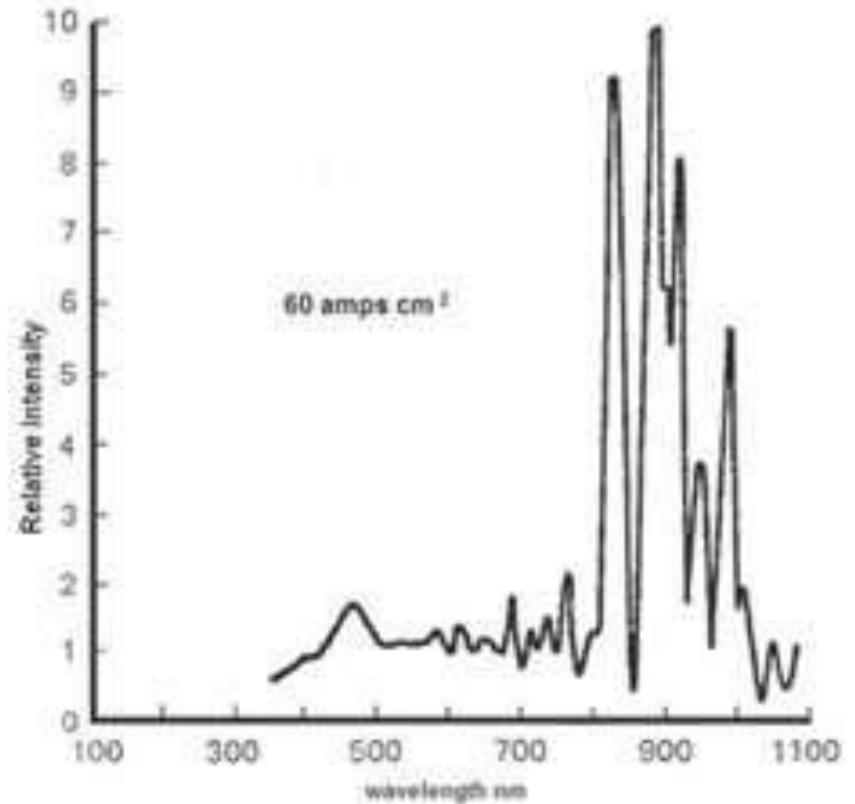
Técnicas de obtención de espejos en alto vacío



Lámparas de bombeo

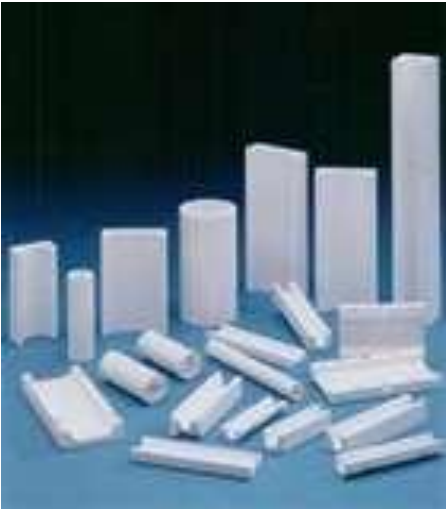
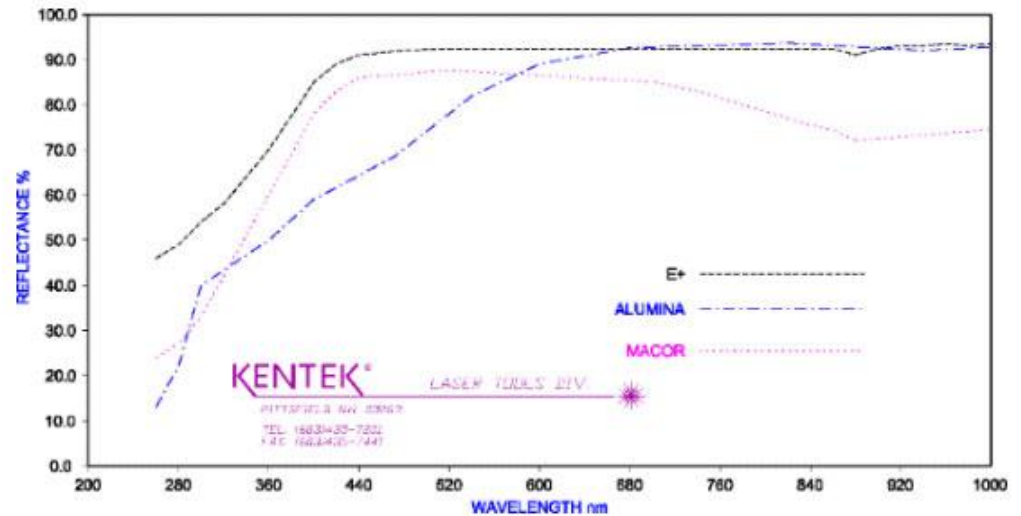


- Electrodo de acero recubierto
- Problema del sellado
- Paredes de cuarzo
- Presión y pureza de gas
- Coincidencia espectral

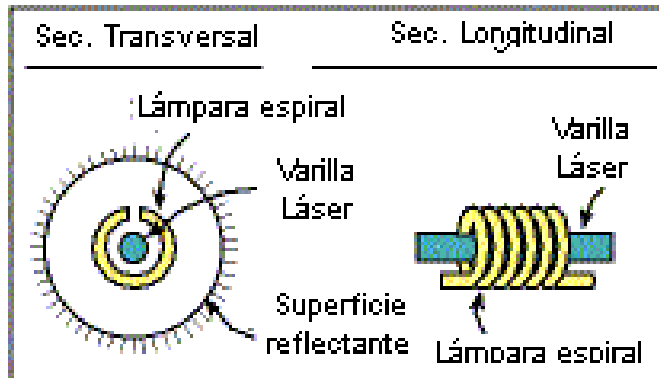


Cavidades reflectoras

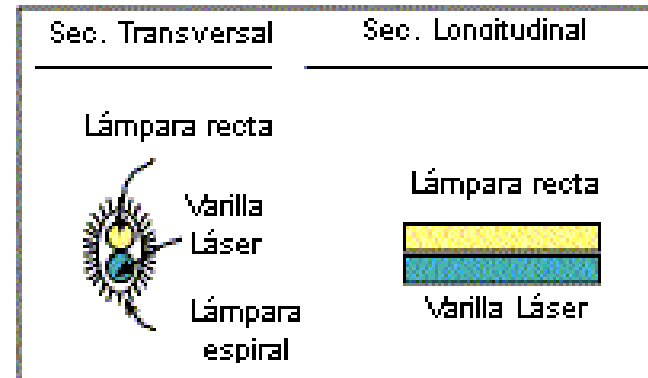
- Difusora, de cerámica
- Especulares metálicos



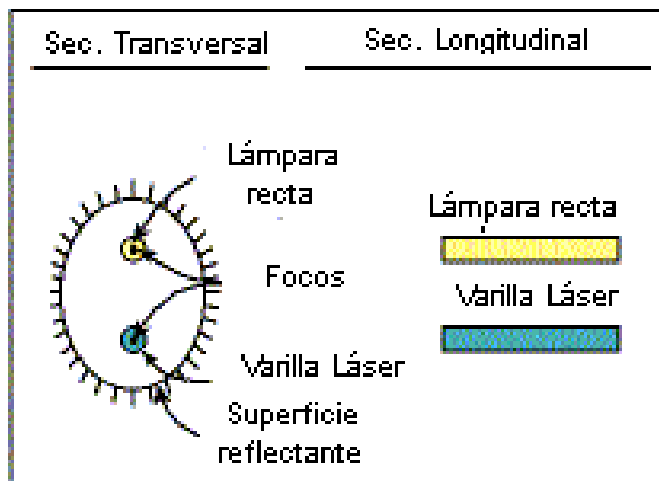
Disposición de Bombeo y de la Barra Láser



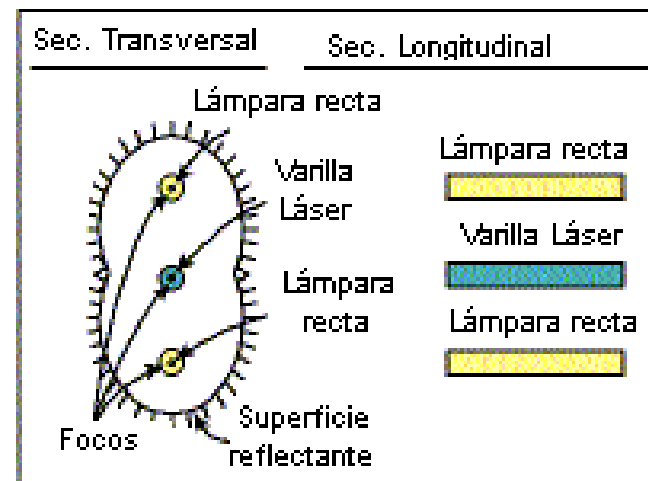
Lámpara espiral alrededor de la varilla Láser



Paquete cerrado

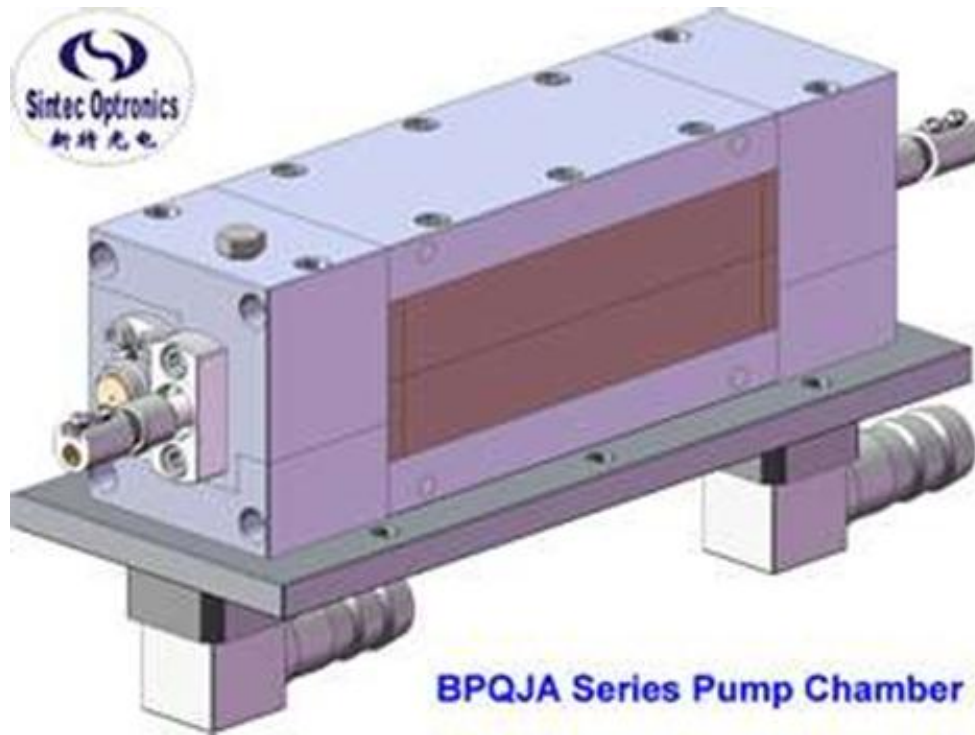


Elipsoide de revolución



Elipsoide doble

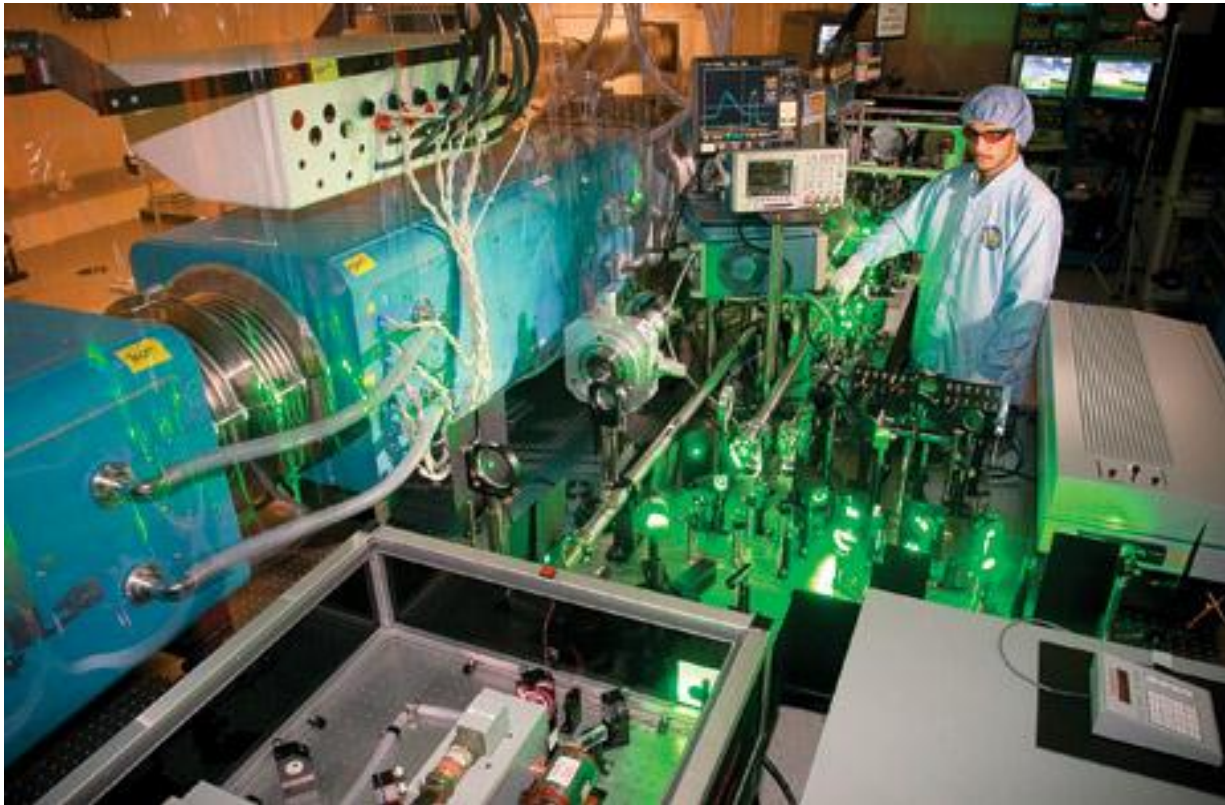
Bloque emisor de un laser de estado sólido



Aplicaciones

- **Industriales** (limpieza de superficies)
- **Médicas** (lanceta láser)
- **Militares**
- **Científicas** (LIBS y PLD)

Láseres de estado sólido 50 años después



El láser mas potente

The Texas Center for High Intensity Laser Science

Logros recientes

- La potencia más elevada: Potencia: 1.1 Petawatts (The Texas CHILS)
- Es 2,000 veces la potencia de la red eléctrica de Estados Unidos)
- Potencia que se alcanza con el laser de pulsos gigantes del IMRE $4 \times 10^{12} \text{ W}$ (Terawatts?)
- Es 400,000 veces la potencia de la red eléctrica de... Cuba

Logros recientes

- La energía de pulso mas elevada: 1.8 Megajulio (Livermool, California)
- En nuestro laboratorio podemos alcanzar 1 Kilojulio

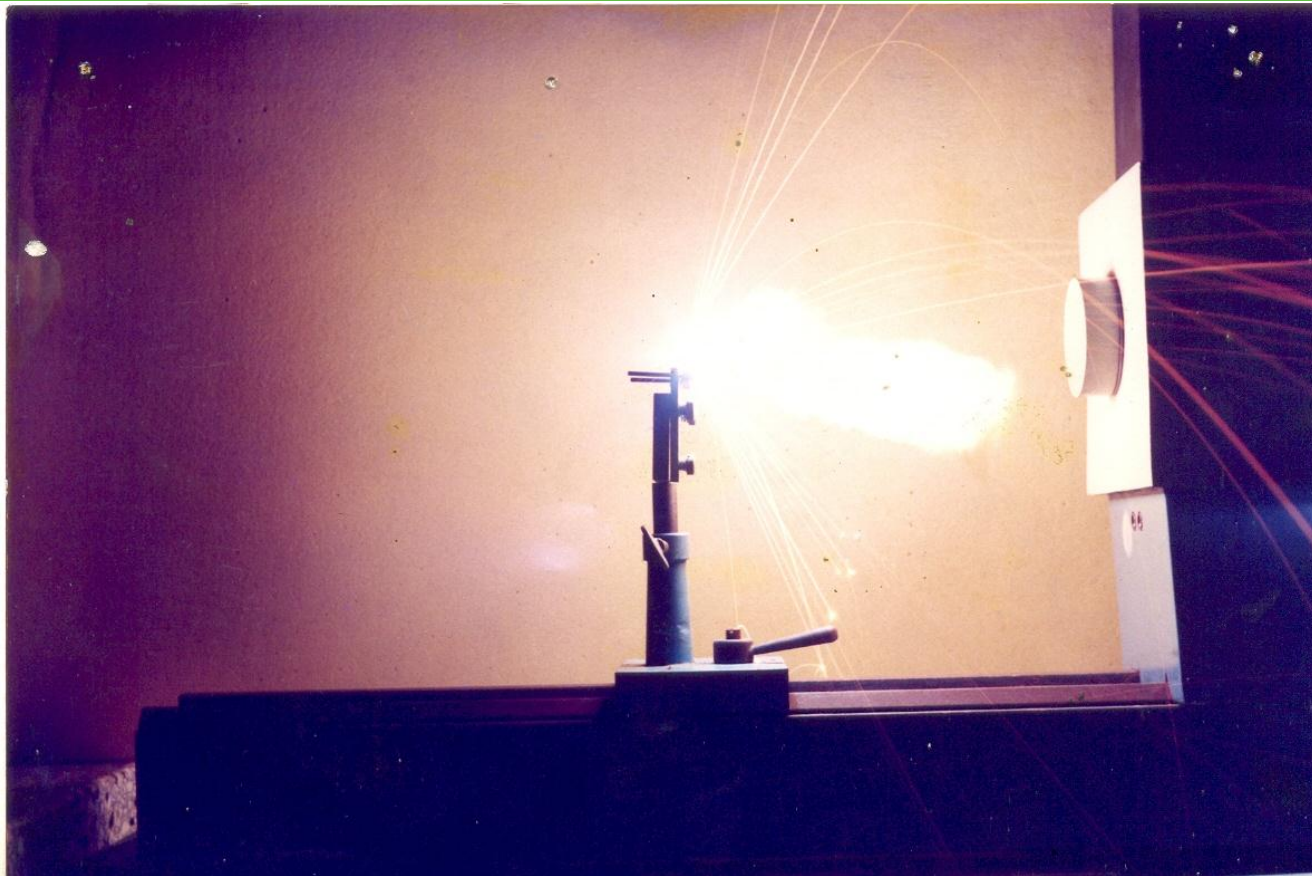
Logros recientes

- El pulso más corto: 80 attosegundos en un láser de rayos X (Instituto Max Planck, Munich)
- En nuestro laboratorio se trabaja nanosegundos y es alcanzable picosegundos

Logros recientes

- El láser mas pequeño: Una partícula de oro embebida en una esfera de Silicio de 44 nm (Cornell Univ). Emite gracias a las oscilaciones de los electrones cuando el metal hace contacto con el aislante. Emite en 530 nm (Long de onda es mayor que las dimensiones del laser!)

Laser de pulsos gigantes (1989)



Laser de Neodimio energía 1000 julios

Láser quirúrgico Nd:YAG 1992



Láser YAG 80 W
con fibra óptica
para aplicación

Lanceta láser, una nueva aplicación de láser de estado sólido

Perforación con láser para la toma de muestras de sangre

- Disminuye el dolor
- Evita riesgos de contagio
- No genera desechos
- Fácilmente transportable
- Bajo consumo eléctrico

- Producirá: BRALAX
- Comercializará: SANOFI-AVENTIS?

- Potencial decenas de miles



Uso clínico

Uso personal



bralax

bralax

GRACIAS