

• Tecnología del Láser.

La palabra LASER es el acrónimo en inglés de **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**, que corresponde a amplificador de luz por emisión estimulada de radiación.

Por cierto, el término radiación es normalmente mal interpretado, ya que también se utiliza para designar a la radiación ionizante emitida por los materiales radioactivos. En general, el término **radiación se asimila a una transferencia de energía**, y ésta puede desplazarse de un lugar a otro por **conducción** (la cocina), por **convección** (la estufa) y por **radiación** (la bombilla).

Toda radiación se propaga en "paquetes" ó fotones, esto es, energía expresada de un modo cuantitativo en "dosis" de energía conocidas.

En función de la energía ó los conceptos asociados (frecuencia, longitud de onda), y mediante la constante de Planck.

	RAYOS X	UV	VISIBLE	IR	RADIOFRECUENCIA
ν (Hz)	10^{18}	10^{15}		10^{14}	10^{11}
λ (m)	10^{-9}	10^{-7}		10^{-6}	10^{-3}
$h\nu$ (J)	10^{-15}	10^{-18}		10^{-19}	10^{-22}

* rangos a nivel orientativo / 350 a 650 nm

$E = h\nu = h \cdot c / \lambda$

La **radiación electromagnética interacciona** con la materia, compuesta por átomos, de dos formas: con su **absorción** ó con la **emisión** de otra nueva radiación.

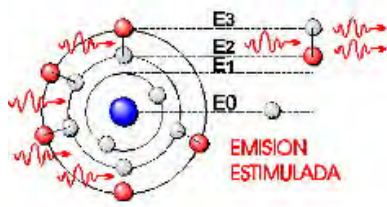


En el denominado modelo semiclásico, un átomo consiste en un núcleo con carga eléctrica + y en una nube de electrones con carga -, distribuidos en órbitas discretas con distintas energías asociadas, en función de su distancia al centro. Un electrón puede absorber un fotón - cantidad discreta de energía - pasando a una órbita superior.

Se dice entonces que el electrón a pasado a un estado excitado, aunque sólo se puede mantener en él durante un tiempo muy breve - del orden de milisegundos. Al caer de nuevo a su órbita previa ó **estado fundamental**, emite un nuevo fotón, lo que se conoce como **emisión espontánea**, base de la fluorescencia natural.

La luz - radiación electromagnética correspondiente a la porción óptica del espectro electromagnético - es generada en un medio láser y amplificada hasta niveles muy altos de energía mediante un proceso atómico denominado **emisión estimulada**, previsto teóricamente por Einstein en 1917.

Si un fotón emitido por un átomo incide sobre otro que tiene un electrón en estado excitado, el fotón incidente estimula la emisión de un segundo fotón, idéntico en tres propiedades características: **longitud de onda, fase y dirección.**



Como es lógico , la posibilidad de que ésto ocurra es muy baja , ya que lo usual es que el átomo tenga más electrones en sus estados fundamentales , siendo el proceso predominante entonces el de la simple absorción.

En 1958 , Schalow y Townes postularon que si hubiera más electrones en su estado excitado que en el fundamental , proceso denominado **inversión de población**, sería posible obtener una amplificación de la luz obtenida.

Lógicamente , ello sería más fácil si hubiese una alta concentración de material - cuantos más átomos mejor.

Añadieron además que la amplificación sería aún mayor si existieran muchos fotones presentes que estimularan la emisión de nuevos fotones.

Propusieron para ello un nuevo tipo de cavidad óptica :

la formada por dos espejos de alta reflexividad ;

uno totalmente reflector ,

el otro parcialmente reflector y parcialmente transmisor ,

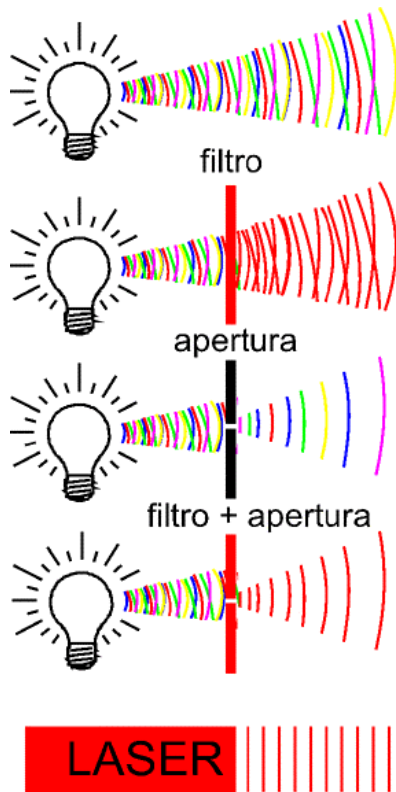
que generaría un mecanismo de retroalimentación de fotones en el medio en el que existiera la inversión de población.

En resumen , la retroalimentación de fotones en el medio material generada por la cavidad óptica , junto con el mantenimiento del estado de inversión de población mediante la aportación continuada de energía externa , produciría las condiciones necesarias para la **amplificación de la emisión estimulada** de energía radiante.

En 1960 , Maiman pudo conseguir en su laboratorio el primer láser , utilizando un cristal de rubí como medio y una lámpara de flash como medio externo de aportación de energía.

La luz generada por un láser se caracteriza por tener unas propiedades muy peculiares : tiene un sólo color - monocromática , es muy intensa - coherente , y tiene una gran direccionalidad - baja divergencia.

• La luz Láser.



La luz - porción del espectro electromagnético detectada por el ojo humano - ha requerido disponer a lo largo de la historia de dos tipos de enfoque , a fin de poder explicar diversos fenómenos tales como la reflexión ó la difracción : a veces se necesita considerar la luz como una **onda electromagnética** (campos de energía eléctrica y magnética combinados que se desplazan en el espacio en forma de onda) , otras es necesario pensar que la luz se comporta como un **haz de partículas** que se desplazan en línea recta . Esta situación llevó a tener que explicar la luz con la conocida **dualidad onda-partícula** : a veces se comporta como una onda , a veces como un haz de partículas.

Una bombilla emite luz blanca (combinación de todas las longitudes de onda ó colores) divergente (se vá abriendo a medida que se aleja del origen) y en todas las direcciones . Si colocamos un filtro de color , evidentemente obtendremos luz **monocromática** ó de un sólo color , divergente y emitida en todas las direcciones. Pero si colocamos una pequeña apertura , ésta se comporta como una nueva fuente de luz puntual , emitiendo frentes de onda ordenados (en fase) lo que se conoce como luz **coherente** , en contraposición a la luz incoherente ó desordenada . El problema estriba en que hemos reducido la intensidad de la luz de un modo considerable , y que sigue siendo divergente .

Siguiendo con el gráfico , si producimos una apertura en el filtro , obtendríamos una luz monocromática (de un sólo color ó longitud de onda) y coherente (ordenada en fase) , pero con una intensidad muy pequeña y divergente . La luz láser es además muy **intensa** y con una **baja divergencia** , lo que le permite tener una alta direccionalidad

• SEGURIDAD EN EL TRABAJO CON LASERES.

Protección ocular contra radiaciones láser

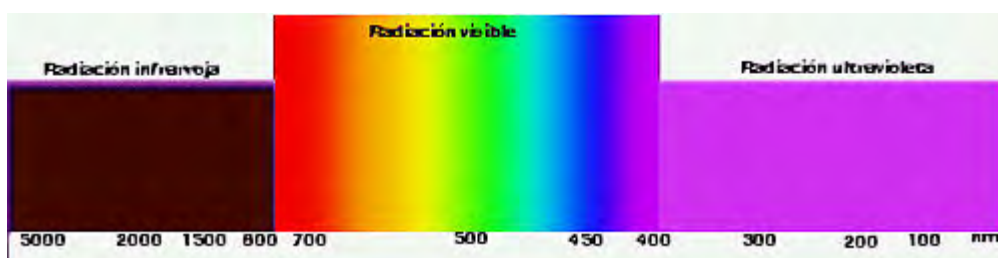
El número de lesiones oculares y cutáneas, causadas por radiaciones accidentales de láser, está aumentando debido al creciente uso de láseres en aplicaciones industriales, quirúrgicas y científicas. El término **LASER** está formado por las iniciales de **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, es decir una amplificación de la luz por emisión estimulada de radiación. Los láseres pueden emitir radiación desde la región ultravioleta hasta la región de infrarrojos lejanos, dependiendo del tipo de láser y de la función para la cual está diseñado. Para comprender el funcionamiento de un equipo láser y las consecuencias en términos de daños oculares que la radiación pueda tener para los operarios, es preciso conocer el espectro electromagnético.

El espectro electromagnético

La luz se puede definir como radiación electromagnética, una forma de energía radiante. Hay varios tipos de ondas electromagnéticas, incluyendo los rayos ultravioleta, rayos infrarrojos, ondas de radio y rayos-X. Sólo percibimos una pequeña parte del espectro, la que llamamos luz visible. Cada tipo de radiación tiene su longitud de onda característica. La longitud de onda quiere decir la distancia, en la dirección de propagación de una onda electromagnética periódica, entre dos puntos consecutivos con la misma fase en un instante de tiempo. El símbolo que la designa usualmente es λ . La longitud de onda se expresa en metros. Las divisiones decimales del metro más utilizadas son:

- el micrómetro $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ - el nanómetro $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$

Aquí consideramos el nanómetro como unidad de medida, que por tanto corresponde a una milmillonésima de metro. La figura muestra la región de luz visible y las tres regiones en que la energía de ultravioleta, luz azul e infrarrojos pueden causar daño al ojo humano.



La radiación ultravioleta es la banda de radiación óptica que presenta las longitudes de onda más cortas. Está dividida en varias partes:

UV cercano	UV-A	315 nm - 380 nm	
UV medio	UV-B	280 nm - 315 nm	
UV lejano	FUV	200 nm - 280 nm	FUV + VUV = UV-C
UV en el vacío	VUV	100 nm - 200 nm	FUV + VUV = UV-C

La banda de radiación óptica visible por el ojo humano es el intervalo de longitudes de onda comprendidas entre 380 nm y 780 nm. La radiación de la parte perjudicial de la luz azul se encuentra en la banda espectral visible. Su intervalo de longitudes de onda está comprendido entre 400 nm y 480 nm. La radiación infrarroja es la radiación óptica cuyas longitudes de onda son superiores a las de la radiación visible. Para la radiación infrarroja, la banda entre 780 nm y 1 mm, se divide generalmente en:

IR cercano	IR-A	780 nm - 1.400 nm
IR medio	IR-B	1.400 nm - 3.000 nm
IR lejano	IR-C	3000 nm - 1 mm

La Radiación Láser

Un láser es un equipo que produce un haz extremadamente intenso. La radiación óptica de un láser es generalmente unidireccional, monocromática y coherente.

- Unidireccional significa que la energía o potencia de la radiación alcanza un objetivo a la vez con muy poca o sin ninguna divergencia, sobre largas distancias.

- Luz monocromática quiere decir radiación en el espectro que sólo contiene un pequeño rango de longitudes de onda. También puede estar caracterizada por una única longitud de onda. Las líneas espectrales de una radiación lineal en una banda estrecha pueden ser consideradas monocromáticas.

- Coherente es cuando las radiaciones emitidas mantienen una diferencia de fase constante.

Si comparamos el efecto de un láser visible de 100 W con una bombilla de 100 W observamos que en el caso del láser, los 100 W son emitidos en fase en un único haz que puede alcanzar un lugar determinado a larga distancia, mientras que con la bombilla, los 100 W son emitidos desfasados y en todas las direcciones, por lo que sólo una pequeña fracción de la potencia alcanza un punto específico. Esa pequeña fracción contiene luz de todo el espectro visible, mientras que el láser suele tener una única longitud de onda. El láser de 100 W focalizado es capaz de cortar materiales como plásticos y cuero.

Existen láseres muy diversos dependiendo de la aplicación para la cual están diseñados. Hay láseres desde muy baja potencia para leer códigos de barras en supermercados, los utilizados en los lectores de Compact Disc, CD-ROM para ordenadores, punteros láser para la presentación de transparencias o diapositivas durante conferencias, hasta láseres de muy alta potencia para cortar acero, taladrar cerámica y soldar carrocerías. Para cada trabajo hay un láser, la potencia y la longitud de onda deben ser las adecuadas para el trabajo a realizar.

La radiación monocromática altamente coherente emitida por un láser puede, mediante sistemas ópticos adecuados, colimarse para formar un haz dirigido muy estrecho, o bien concentrarse sobre una región muy pequeña, acumulando sobre la misma una energía muy elevada. En estas propiedades se basa la utilización de láseres pulsantes para cortar, fundir o vaporizar pequeños volúmenes de cualquier material; la fácil dirigibilidad del láser permite una gran precisión en estas operaciones, lo que unido a la ventaja de poder operar sin necesidad de vacío, le confiere un papel relevante en el campo metalúrgico.

El láser se utiliza en la industria para cortar, taladrar, soldar y grabar en materiales muy diversos desde papeles, plásticos o telas hasta acero o diamante. Cortar y taladrar son las dos aplicaciones industriales más frecuentes del láser. Como no es más que una luz muy intensa, no se embota ni se atasca, como las sierras y brocas mecánicas.

En el mismo sentido constituye un instrumento utilísimo en medicina y cirugía, donde el rayo puede utilizarse para realizar " Operaciones Quirúrgicas". Se ha usado con éxito en oncología y oftalmología , ginecología, dermatología, odontología y cirugía. El calor que produce el láser cierra los vasos sanguíneos evitando así las hemorragias.

En todas estas aplicaciones se hace imprescindible la utilización de protectores oculares para bloquear toda la radiación perjudicial, permitiendo a los quirúrgicos, enfermeras y otro personal en quirófano, ver perfectamente los tejidos, venas y otros órganos vitales. La utilización del láser junto con las fibras ópticas, ha revolucionado las telecomunicaciones, permitiendo enviar por una fibra miles de conversaciones simultáneas. Las aplicaciones del láser son innumerables, pudiendo citar entre otras, el alineamiento, medida y control, procesado de materiales, aplicaciones en artes gráficas, comunicaciones, procesado de la información, Holografía e Interferometría, espectroscopia, medida de distancias, visión nocturna, medida de contaminación, separación de isótopos, fusión, otras aplicaciones militares y espectáculos como el cine, discotecas y conciertos de música.

Resumiendo, los láseres pueden ser desde muy baja a muy alta potencia dependiendo de la aplicación y pueden emitir radiación desde la región ultravioleta hasta la región de infrarrojos lejanos. La energía de estas radiaciones pueden causar lesiones oculares y cutáneas. Los láseres suelen recibir el nombre del medio activo utilizado para generar la emisión, como argón, rubí y helio-neón. El nombre suele ser abreviado conforme al símbolo químico, como He-Ne en vez de helio-neón. El color de un haz de láser depende de las características del medio emisor. Por ejemplo el haz de argón es verde azulado y el haz de rubí es rojo.

Tipos de láser

Los medios activos más utilizados para la generación de emisión láser pueden ser de estado sólido, gas, semiconductor y colorante.

Láser de estado sólido

Los láseres de estado sólido están contruidos con cristales sólidos como el neodimio, rubí o titanio-zafiro que se excitan con luz intensa. Un láser de titanio-zafiro emite luz sintonizable desde 690 nm a 1.100 nm. Láseres de este tipo se utilizan en la industria, medicina y aplicaciones científicas.

Láser de gas

En los láseres de este tipo el haz es producido en un gas o una mezcla de gases, como argón o helio-neón, que se excitan con una corriente eléctrica. El láser He-Ne es de helio y neón que en su versión más corriente, emite una luz roja de longitud de onda igual a 632,8 nm. Este tipo de láser es de baja potencia y se utiliza con frecuencia en centros de enseñanza. El láser de argón, es de media potencia y se emplea mucho en medicina y aplicaciones científicas.

Láser de semiconductor

Son láseres diminutos contruidos con materiales sólidos denominados semiconductores. Emiten un haz fino cuando se excitan por una corriente eléctrica. Un ejemplo es el láser de Arseniuro de Galio, que emite luz IR de longitud de onda entorno a 800 nm. Este tipo de láseres se emplea sobre todos en equipos e instrumentos electrónicos y en sistemas de telecomunicaciones.

Láser de colorante

El medio activo en este tipo de láser es un colorante líquido, por ejemplo Rodamina. Se excitan normalmente con un láser de argón o lámparas de flash. El colorante absorbe la luz láser de excitación produciendo fluorescencia en un abanico de luz muy amplio cuya emisión láser se selecciona mediante la utilización de prismas u otros elementos ópticos. El rango de longitudes de onda es desde 400 nm hasta 1.000 nm. Se emplea en aplicaciones médicas y científicas.

Dependiendo del tiempo de funcionamiento se distinguen dos clases de láser: **Láser continuo** y **Láser pulsado**.

Desde el punto de vista de los efectos, tanto físicos como biológicos, es imposible trazar una línea de separación precisa entre ambas clases. El láser continuo es capaz de emitir radiación de forma continua mientras en láser pulsado libera su energía en forma de pulsos. La diferencia entre ambos es el tiempo de duración de la emisión láser. De acuerdo con la Norma Europea EN 60825, la duración mínima de la emisión, para ser considerado continuo, es de 0,25 s, que es la duración del reflejo palpebral.

(El reflejo palpebral es una característica del ojo humano consistente en el cubrimiento del ojo por el párpado en 0,25 s como consecuencia de un estímulo luminoso suficientemente intenso.) La potencia de pico de un láser continuo es igual a su potencia media, mientras que en un láser pulsado, su potencia de pico es igual al cociente entre su potencia media y el producto de la anchura de pulso por la frecuencia de repetición. La potencia de pico, así como la energía del pulso (Potencia de pico en vatios por anchura de pulso en segundos), son los parámetros más importantes desde el punto de vista de seguridad láser.

Clasificación de láseres (EN 60825)

Los productos láser se agrupan en cuatro clases generales para las que se especifican los límites de emisión admisibles (LEAs).

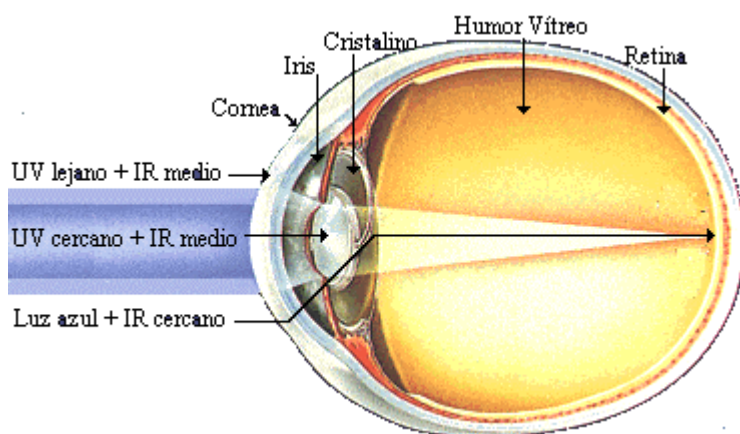
	Láser	Daño	Riesgo	Medida de control
Clase I	Sistemas láser que no pueden emitir radiación en exceso de los niveles máximos de exposición permitidos.	Ninguno	Ninguno	Etiquetas de peligro
Clase II	Láseres emisores de luz visible que no tengan suficiente potencia para producir daños por accidente, pero pueden producir daños por una observación directa del haz durante un período superior a 0,25 segundos	Ocular	Crónico para exposiciones de 1.000 segundos	Carcasa protectora Etiquetas de peligro Indicadores de funcionamiento Gafas de protección
Clase IIIa	Láseres emisores de luz visible que no producen daños por observación indirecta, pero dañan la retina si se focalizan dentro del ojo	Ocular	Crónico para exposiciones mayores de 0,25 segundos	Controles de ingeniería Gafas de protección Controles administrativos Señales de peligro Controles de ingeniería
Clase IIIb	Láseres que pueden producir daños por accidente si se observa directamente el haz o sus reflexiones en distintas ópticas	Ocular Cutáneo	Peligro agudo en contacto con el haz	Gafas de protección Controles administrativos Señales de peligro Controles de ingeniería
Clase IV	Sistemas láser que producen daños graves, por incidencia directa, indirecta ó reflexión difusa, en los ojos y la piel.	Ocular Cutáneo	Peligro agudo en contacto con el haz ó con su radiación difusa	Gafas de protección Controles administrativos Señales de peligro

Cómo afecta la radiación al ojo humano

El cuadro muestra las distintas radiaciones con sus respectivos intervalos de longitud de onda y las lesiones que pueden causar al ojo humano.

Daños a los ojos de las radiaciones

UV-A (315-380 nm)	Niveles altos o exposiciones prolongadas pueden causar cataratas
UV-B (280-315 nm)	Cataratas, quemaduras cutáneas
UV-C (100-280 nm)	Daño de la córnea y el cristalino. Pérdida de visión
Luz azul (400-480 nm)	Daño de la retina, pérdida de visión
IR-A (700-1400 nm)	Daño de la retina
IR-B (1400-3000 nm)	Daño de la córnea y el cristalino
IR-C (3000nm-1 mm)	Quemaduras, pérdida de visión



La figura indica los efectos de las radiaciones sobre el ojo. La córnea es afectada por radiación ultravioleta - principalmente UV lejanos así como por IR medios. El cristalino se ve dañado por los efectos de UV cercanos y por los infrarrojos, principalmente medios. Otros tipos de radiaciones peligrosas no son absorbidos por la córnea o el cristalino, sino que se focalizan directamente en la retina. Este puede ser el caso de la luz visible (daño foto-químico) así como IR cercano. La retina tiene una capacidad muy limitada de cicatrización, incluso niveles bajos de energía pueden dañarla irreversiblemente. La radiación infrarroja puede actuar en conjunción con luz azul aumentando la posibilidad de daño foto-químico sobre la retina. Cuando el nivel de radiación es muy alto, si la temperatura de la córnea y el cristalino aumenta y su refrigeración mediante los vasos sanguíneos no es suficiente, los rayos infrarrojos pueden aumentar la posibilidad de daño de estos órganos por los rayos ultravioletas.

Las enfermedades oftálmicas más comunes debido a estas radiaciones son queratitis, conjuntivitis y cataratas. La queratitis es una inflamación de la córnea caracterizada por infiltración con matidez de la superficie y disminución de la transparencia. Sus síntomas son dolor, lagrimeo, fotofobia y disminución de la visión. Se distinguen tres variedades: superficial, profunda y úlcera de córnea. La conjuntivitis se produce cuando se inflama la conjuntiva, una delicada membrana que tapiza los párpados y cubre la porción anterior del globo ocular. Sus síntomas son el enrojecimiento por inyección vascular, molestias, secreciones diversas y fotofobia. Fotofobia significa "horror a la luz". Se trata de una sensación ocular desagradable que se experimenta bajo el efecto de la luz. Puede manifestarse en caso de cualquiera de las enfermedades oftálmicas externas como queratitis y conjuntivitis. Las cataratas se producen cuando el cristalino se vuelve opaco a causa de un proceso degenerativo de su tejido constitutivo. Se caracteriza por la aparición de una opacidad blanca o grisácea y por la disminución de visión o visión de puntos y manchas negras. En casos extremos puede conducir a la pérdida completa de visión.

Protección individual contra la radiación láser

Los protectores oculares contra radiación láser deben ser utilizados por toda persona que permanezca en zonas donde se emplee un equipo láser. Los protectores han de ser adaptados al sistema de láser en uso. La no utilización de gafas de protección o la selección de unas gafas de protección inapropiadas para la aplicación específica puede causar una lesión ocular. Las gafas nunca deben utilizarse para la observación directa del haz láser.

La Norma Europea EN 207 se aplica a los filtros y protectores de los ojos utilizados contra la radiación láser en la banda espectral comprendida entre los 180 nm y 1 mm. Los filtros según esta norma permiten una atenuación de esta radiación de acuerdo con los valores especificados para los láseres de clase III y IV.

La Norma EN 208 se refiere a gafas de protección para los trabajos de ajuste de los láseres y los sistemas láser, en los que la radiación peligrosa producida en la banda espectral visible está comprendida entre los 400 nm y 700 nm. Los filtros, según esta norma, permiten una atenuación de esta radiación hasta los valores especificados para los láseres de clase II.

Los protectores oculares contra sistemas láser deben aportar el grado de protección apropiado en la longitud específica de onda, con el fin de optimar la protección y transmitancia de luz necesaria para que el usuario pueda realizar su trabajo de manera segura y eficaz. La acción filtrante es la capacidad de un filtro óptico para atenuar la radiación óptica en un intervalo determinado de longitudes de onda. Existen diversas condiciones de ensayo según que el tipo de láser sea continuo ó pulsado. Todos los filtros de protección láser deben ensayarse según la condición de ensayo para láser continuo. Si debe garantizarse una protección complementaria contra láseres pulsantes, los filtros y gafas de protección láser deberán ensayarse según las condiciones de ensayo de pulsado.

En la tabla se indica el factor espectral máximo de transmisión para las diferentes grados de protección. Estos valores no deberán ser sobrepasados por los filtros y protectores de los ojos ante una radiación láser de la (las) longitud(es) de onda para las(s) que garantizan protección. El factor de transmisión espectral de un filtro (para la longitud de onda) es la razón entre el flujo energético transmitido y el flujo incidente. (EN 207)

Grado de protección	Factor espectral máximo de transmisión para las longitudes de onda láser
L1	10 ⁻¹
L2	10 ⁻²
L3	10 ⁻³
L4	10 ⁻⁴
L5	10 ⁻⁵
L6	10 ⁻⁶
L7	10 ⁻⁷
L8	10 ⁻⁸
L9	10 ⁻⁹
L10	10 ⁻¹⁰

Para determinar el filtro apropiado hay que responder a las siguientes preguntas.

¿Cual es la longitud de onda del sistema de láser?

¿Qué potencia ó energía produce el sistema?

¿Es necesario ver una parte del haz reflejado para la aplicación?

¿Cual es la anchura del pulso y la frecuencia de repetición?

¿Cual es el diámetro del haz? (para calcular la irradiancia media de la radiación láser)

¿Qué tipo de riesgos de radiación secundario están involucrados? (pe. corte de metal y soldadura)

¿Qué tipo de protector es necesario, por ejemplo gafas panorámicas a usar sobre gafas correctoras?

¿Hay otras consideraciones a tener en cuenta cuando el láser está funcionando?

Una vez determinado el filtro apropiado es importante asegurar que las gafas a elegir estén certificadas por la CE, asegurando así una mínima garantía de calidad. (R.D. 1407/1992)

Características gafas de protección contra la radiación láser

Como Equipo de Protección Individual, las gafas de protección contra radiaciones láser han de cumplir unas características generales. Entre ellas cabe destacar las siguientes:

- Las gafas no están previstas para proteger más que en caso de una exposición accidental
- El factor espectral de transmisión para las longitudes de onda láser no debe sobrepasar al factor espectral máximo de transmisión correspondiente al grado de protección indicado.
- El factor medio de transmisión en el visible de los filtros de protección láser debería ser el 20% como mínimo. Si resulta inferior, el fabricante ha de advertirlo en las instrucciones de uso y la iluminación del puesto de trabajo deberá aumentarse..

- Los filtros de protección láser no deben presentar defectos de masa ni superficie que puedan alterar su aptitud de uso, tales como burbujas, rayas, agujeros, marcas del molde y otros defectos debido a la fabricación
- Los filtros montados en las monturas no deben ser amovibles. Las monturas deben fabricarse de tal modo que impidan una penetración lateral accidental de la radiación láser
- Las monturas y los filtros no deben inflamarse, ni quedar incandescentes
- Las gafas deben permitir, en las direcciones horizontales y verticales, un campo de visión libre de 40° (ángulo lleno) como mínimo.

De acuerdo con la Norma Europea EN 207, el marcado de las gafas de protección láser incluirá los parámetros más importantes relativos al tipo de laser, nivel de atenuación óptica y resistencia mecánica.

Ejemplo de marcado

- Tipos de láser
- Longitud(es) de onda o banda espectral en nm para la(s) que el filtro garantiza protección
- Grado de protección
- Identificación del fabricante
- Marca de certificación CE
- Código de resistencia mecánica

En unas gafas de protección de calidad óptima, los absorbentes desarrollados para los filtros son integrados en polímeros como aditivos disueltos de manera homogénea, para absorber eficazmente la energía láser que pueda causar lesiones oculares. La energía láser es absorbida a un nivel molecular y convertida en calor que luego se disipa sin riesgo alguno. No hay riesgos de reflexión nocivos creados por los filtros y no importa el ángulo de incidencia en que el haz alcanza al filtro, no hay pérdida de protección porque la energía láser es totalmente absorbida por el filtro. Gracias a que la protección está integrada en todo el filtro, arañazos en el superficie no afectan a la protección. Los filtros llevan una capa de recubrimiento superficial por ambos lados para proteger contra arañazos asegurando así una larga duración.

El material idóneo para las lentes es policarbonato ya que ofrece poco peso y buena resistencia contra impactos. Siendo de policarbonato no se astillarán durante o después de una exposición a un haz láser, o por una caída accidental. Los protectores laterales han de tener el mismo grado de protección que el filtro y es importante que las gafas proporcionen un amplio campo de visión. El confort es otro aspecto fundamental a tener en cuenta a la hora de seleccionar unas gafas de protección. Deben ser de peso ligero y proporcionar una ventilación óptima.

Existen gafas de protección de policarbonato que llevan incorporado un sistema de alerta audiovisual. (AVAS, Audio Visual Alert System) Si un filtro es alcanzado directamente o por un haz reflejado, este sistema alerta al usuario que el filtro está siendo impactado por el haz. Con este sistema, cuando un haz de un láser de alta potencia alcanza el filtro, suena un avisador acústico seguido por un oscurecimiento visual del filtro en el punto del contacto con el haz. Esto alerta al usuario de que debe abandonar la trayectoria del mismo.

• El Láser de diodo

Todos los láseres de diodo están contruidos con materiales semiconductores , y tienen las propiedades características de los diodos eléctricos. Por esta razón reciben nombres como :

Láseres de semiconductor - por los materiales que los componen

Láseres de diodo - ya que se componen de uniones p-n como un diodo

Láseres de inyección - ya que los electrones son inyectados en la unión por el voltaje aplicado

La utilización tanto en I+D como comercial de los láseres de diodo ha cambiado dramáticamente en los últimos 20 años. Hoy en día el número de láseres de diodo vendidos en un años se mide en millones , mientras que todos los demás tipos de láser juntos se miden en millares.

De hecho , la familia actual de láseres de diodo es utilizada en productos de alto consumo como : CD - Compact Discs, Impresoras Láser , Escáneres y comunicaciones ópticas.

El diodo láser fue inventado en tres laboratorios de investigación en USA de modo independiente . Los investigadores consiguieron radiación electromagnética coherente de un diodo de unión p-n en base al material semiconductor GaAs - Arsenuro de Galio.

Haremos ahora una pequeña introducción básica :

Los Semiconductores

En general , los sólidos pueden dividirse entres grupos :

Aislantes - Materiales que no son conductores de la electricidad como cuarzo , diamante , goma o plástico

Conductores - Materiales que son conductores de la electricidad como oro , plata , cobre

Semiconductores - Materiales con una conductividad eléctrica intermedia entre materiales conductores y no conductores

Ejemplos : Ge, Si, GaAs, InP, GaAIAs.

La conductividad de un semiconductor aumenta con la temperatura (explicado más tarde) , contrariamente a lo que sucede con los materiales metálicos , cuya conductividad disminuye con la temperatura debido al aumento del nivel vibracional de los átomos.

Niveles energéticos

En un gas , cada átomo ó molécula está (bajo el punto de vista energético) a gran distancia de sus vecinos , con lo que puede considerarse aislado.

Podemos considerar del mismo modo a unos pocos átomos de un material (que actúan como átomos de impurezas) que son añadidos a un medio homogéneo sólido de otro material.

En contraste con los niveles energéticos separados existentes en un gas o en un pequeño número de átomos de impurezas en un sólido homogéneo , los electrones en un semiconductor están en bandas energéticas , que , efectuando una simulación , se componen de agrupaciones de un gran número de niveles energéticos por efectos cuánticos. Estas bandas de energía corresponden a todo el material , no estando asociadas a un sólo átomo. La anchura de la banda aumenta a medida que decrece la distancia entre los átomos y aumenta la interacción entre ellos.

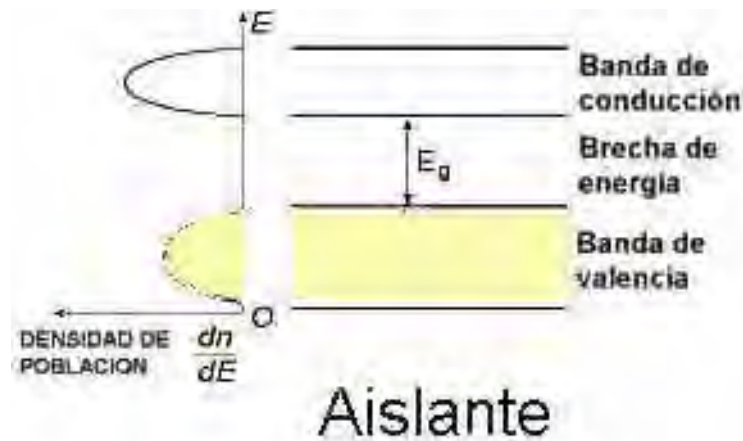
Las bandas energéticas en un semiconductor pueden ser de dos tipos :

Banda de Valencia - Los electrones en una banda de valencia están ligados a los átomos del semiconductor.

Banda de Conducción - Los electrones en una banda de conducción pueden moverse por el semiconductor.

La separación entre la banda de valencia y la de conducción se denomina la *Brecha de Energía* , no existiendo ningún nivel energético posible dentro de ésta zona. Si un electrón de la banda de valencia consigue suficiente energía , puede " saltar " la brecha de energía para introducirse en la banda conductora. (ver figura 6.19a)

Las bandas de energía llenas son aquellos niveles energéticos de los electrones internos , ligados al átomo , que no participan en los enlaces entre los átomos del sólido . Para que un sólido conduzca la electricidad , los electrones necesitan moverse en el sólido.



En un aislante - la banda de valencia está llena de electrones , con lo que los electrones no pueden moverse dentro de la banda . Para que exista una conducción de electricidad , los electrones de la banda de valencia deben pasar a la banda de conducción . En consecuencia , debe suministrarse una energía superior a la brecha de energía a los electrones de la banda de valencia , a fin de conseguir su transferencia a la banda de conducción . Como la brecha de energía es grande , ésta evita el paso , y en consecuencia , los aislantes son poco conductores
 La estructura de los niveles energéticos de un aislante pueden verse en la figura 6.19a.

Figura 6.19a: Niveles energéticos de un aislante

En un conductor - (metal) Las bandas de valencia y de conducción se superponen , por lo que en la práctica la brecha de energía es nula . En consecuencia , los electrones necesitan muy poca energía para pasar a la banda de conducción y conducir la electricidad .
 La estructura de los niveles energéticos de un conductor pueden verse en la figura 6.19b

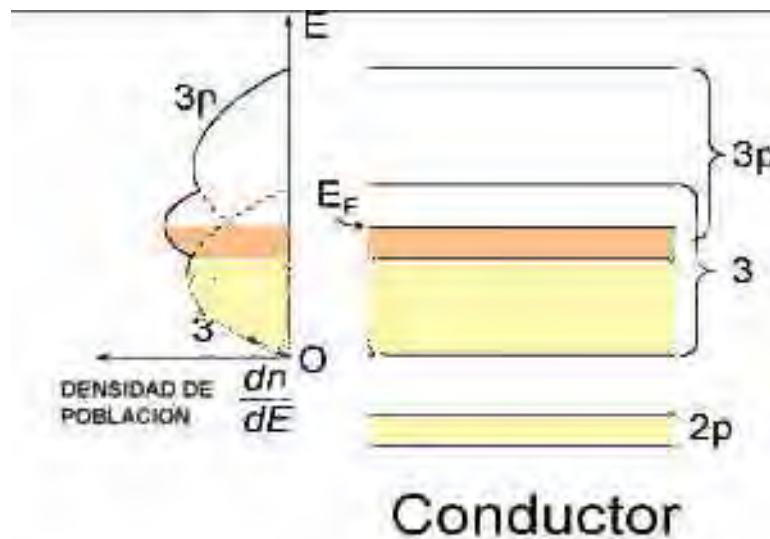


Figura 6.19b: Niveles energéticos de un conductor

En un semiconductor - la brecha de energía es muy pequeña , por lo que se requiere muy poca energía para transferir los electrones de la banda de valencia a la de conducción . Hasta la temperatura ambiente proporciona la energía suficiente . Aumentando la temperatura , más y más electrones serán transferidos a la banda de conducción . En consecuencia aumenta la conductividad con la temperatura.

La estructura de los niveles energéticos de un semiconductor pueden verse en la figura 6.20.

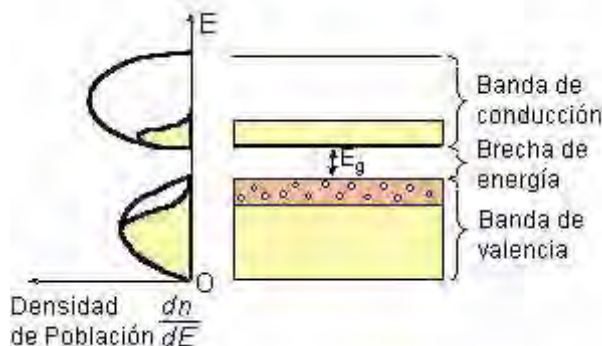


Figura 6.20: Niveles energéticos de un semiconductor

Cuando se transfiere un electrón de la banda de valencia a la de conducción, se crea un " agujero " en la banda de valencia. Estos " agujeros " se comportan como cargas positivas que se mueven por la banda de valencia como consecuencia de aplicar un voltaje. En el proceso de la conducción eléctrica participan tanto los electrones que están en la banda de conducción como los " agujeros positivos " que permanecen en la banda de valencia originados por el " salto " de electrones a la banda de conducción.

·
 A fin de controlar el tipo y densidad de los " portadores " de carga en un semiconductor, se añaden *impurezas* con un número extra de " portadores " de carga al semiconductor. Los átomos de estas impurezas son eléctricamente neutros.

Las Impurezas

En un material semiconductor " puro ", la estructura de las bandas y la brecha de energía están determinadas por el propio material. Añadiendo otro material con portadores de carga, aparecen niveles de energía adicionales dentro de la brecha (ver figura 6.21).

Si la impureza contiene más electrones que el propio material semiconductor puro, los portadores de carga añadidos son negativos (electrones), y el material se denomina " semiconductor de tipo n ". En este tipo de materiales aparecen niveles energéticos adicionales muy cercanos a la banda de conducción, con lo que es suficiente con un aporte pequeño de energía para hacerlos saltar a la banda de conducción, de modo que tenemos más portadores de carga libres para conducir la electricidad.

Si la impureza contiene menos electrones que el material semiconductor, los niveles energéticos extras aparecen cerca de la banda de valencia. Los electrones de la banda de valencia pueden saltar a estos niveles fácilmente, dejando atrás " agujeros positivos ". Este tipo de material se denomina " semiconductor de tipo p "



En la figura 6.21 se describe la influencia de la adición de impurezas en la anchura de las bandas de energía.

El proceso Láser en un Láser de Semiconductor

Cuando unimos un semiconductor tipo "p" a otro tipo "n", obtenemos una " unión p-n ". Esta unión p-n conduce la electricidad en una dirección preferente (hacia adelante). Este aumento direccional de la conductividad es un mecanismo común en todos los diodos y transistores utilizados en la electrónica. Y es la base del proceso láser que tiene lugar entre las bandas de energía de la unión. La Figura 6.22 muestra las bandas de energía ideales de una unión p-n, sin aplicar un voltaje externo.

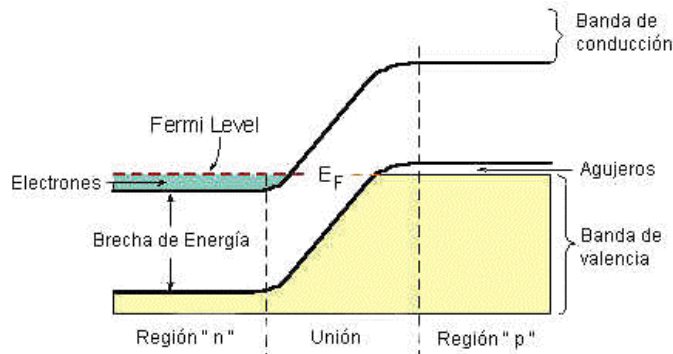


Figura 6.22: Niveles de energía de una unión p-n sin voltaje aplicado

El nivel máximo de energía ocupado por electrones se denomina *Nivel de Fermi*. Cuando se conecta el polo positivo de un voltaje a la cara p de la unión p-n, y el negativo a la cara n, se establece un flujo de corriente a través de la unión p-n. Esta conexión se denomina *Voltaje dirigido hacia adelante o positivo*. Si se conecta con la polaridad inversa (polo + a la cara "n" y polo - a la cara "p") se denomina *Voltaje dirigido hacia atrás o negativo*; éste causa un aumento de la barrera de potencial existente entre las partes p y n, con lo que evita el paso de la corriente a través de la unión.

Aplicando un voltaje en una unión p-n

Cuando se aplica un voltaje a través de una unión p-n, la población de las bandas de energía cambia. El voltaje puede ser aplicado de dos formas o configuraciones posibles :

1. Voltaje *positivo o hacia adelante* - significa que el polo negativo del voltaje es aplicado a la cara "n" de la unión, y el polo positivo a la cara "p", como se muestra en la figura 6.23:

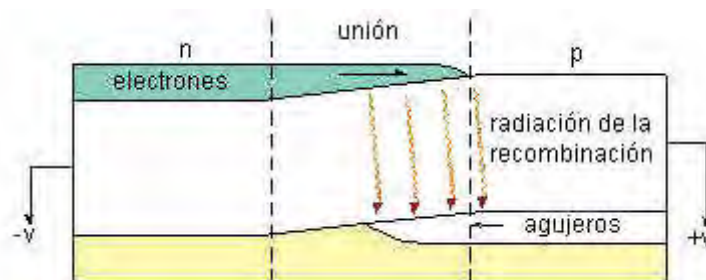


Figura 6.23: Bandas de energía de una unión p-n cuando se le aplica un voltaje positivo

El voltaje hacia adelante o positivo crea portadores extra en la unión, reduciendo la barrera de potencial, y origina la inyección de portadores de carga, a través de la unión, al otro lado. Cuando un electrón de la banda de conducción en el lado "n" es inyectado a través de la unión a un " agujero " vacío en la banda de valencia del lado "p", tiene lugar un proceso de recombinación (electrón + agujero), y se libera energía

En los diodos láser , nuestro interés se concentra en los casos específicos en que la energía es liberada en forma de radiación láser . Se produce un fuerte aumento de la conductividad cuando el voltaje positivo es aproximadamente igual a la brecha de energía del semiconductor.

2. *Voltaje negativo o hacia atrás* - causa un aumento de la barrera de potencial , disminuyendo la posibilidad de que los electrones salten al otro lado . Aumentando el voltaje negativo a valores altos (décimas de voltio) , se puede obtener un colapso del voltaje de la unión (avalancha) .

La construcción de un Diodo Láser

Se enseña la estructura básica en capas de un láser de diodo simple en la figura 6.24.

Las capas de los materiales semiconductores están dispuestas de modo que se crea una región activa en la unión p-n , y en la que aparecen fotones como consecuencia del proceso de recombinación . Una capa metálica superpuesta a las caras superior e inferior permite aplicar un voltaje externo al láser .

Las caras del semiconductor cristalino están cortadas de forma que se comportan como espejos de la cavidad óptica resonante.

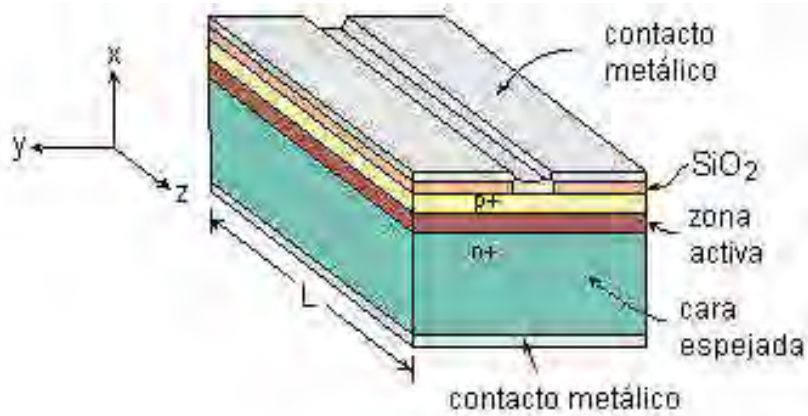


Figura 6.24: Estructura básica de un láser de diodo

La Figura 6.25 describe la forma en que la radiación láser electromagnética es emitida para un láser simple de diodo. La radiación láser tiene forma rectangular y se difunde a diferentes ángulos en dos direcciones.

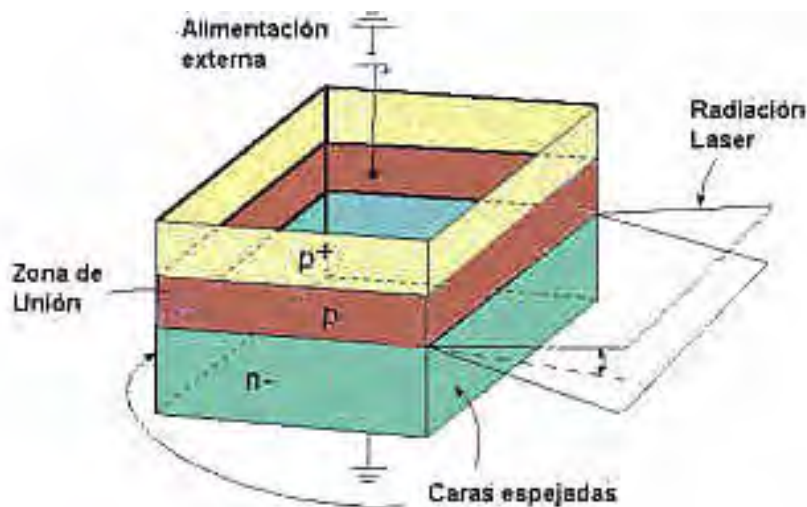


Figura 6.25: Perfil de la radiación láser emitida por un diodo láser simple

Más tarde describiremos unas estructuras y diseños especiales que permiten confinar la zonas activa en una región más pequeña , y controlar así el perfil del haz láser conseguido.

Sumario de los Láseres de Diodo hasta éste punto:

Los portadores de carga en un láser de diodo son los electrones libres en la banda de conducción, y los agujeros positivos en la banda de valencia.

En la unión p-n , los electrones "caen" en los agujeros , que corresponden a niveles de energía más bajos

El flujo de corriente a través de la unión p-n del láser de diodo ocasiona que ambos tipos de portadores (agujeros y electrones) se recombinen , siendo liberada energía en forma de fotones de luz.

La energía de un fotón es aproximadamente igual a la de la brecha de energía.

La brecha de energía viene determinada por los materiales que componen el diodo láser y por su estructura cristalina.

Curva I-V de un Diodo Láser

Si la condición requerida para la acción láser de inversión de población no existe , los fotones serán emitidos por emisión espontánea. Los fotones serán emitidos aleatoriamente en todas las direcciones , siendo ésta la base de los LED - diodo emisor de luz .

La inversión de población sólo se consigue con un bombeo externo. Aumentando la intensidad de la corriente aplicada a la unión p-n , se alcanza el umbral de corriente necesario para conseguir la inversión de población .

En la figura 6.26 se muestra un ejemplo de la potencia emitida por un diodo láser en función de la corriente aplicada. Se aprecia enseguida que la pendiente correspondiente a la acción láser es mucho mayor que la correspondiente a un led.

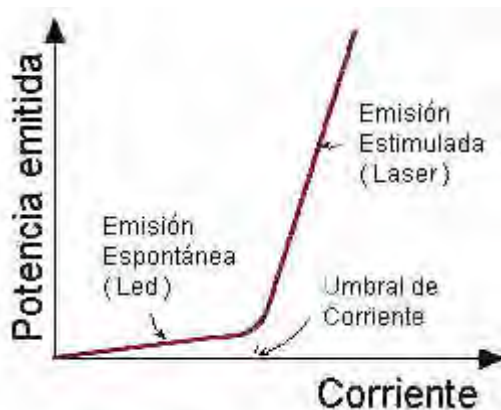


Figura 6.26: Potencia de emisión de un diodo láser en función de la corriente aplicada.

El umbral e corriente para el efecto láser viene determinado por la intersección de la tangente de la curva con el eje X que indica la corriente (esta es una buena aproximación) Cuando el umbral de corriente es bajo , se disipa menos energía en forma de calor , con lo que la eficiencia del láser aumenta. En la práctica , el parámetro importante es la densidad de corriente , medida en A/cm^2 , de la sección transversal de la unión p-n .

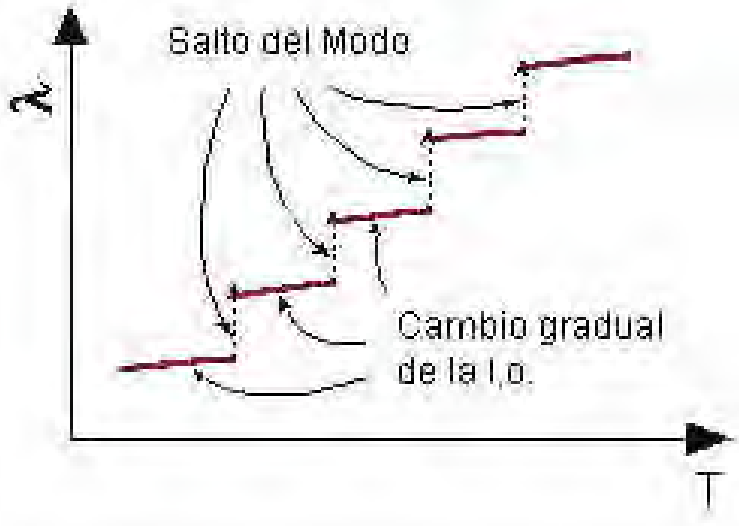
Dependencia de los parámetros del diodo láser de la temperatura

Uno de los problemas básicos de los diodos láser es el aumento del umbral de corriente con la temperatura . Los operativos a bajas temperaturas requieren bajas corrientes . A medida que la

corriente fluye por el diodo , se genera calor . Si la disipación no es la adecuada , la temperatura aumenta , con lo que aumenta también el umbral de corriente .

Además , los cambios en temperatura afectan a la longitud de onda emitida por el diodo láser . Este cambio se ilustra en la figura 6.27. , y se compone de dos partes :

1. Un aumento gradual de la longitud de onda emitida proporcional al aumento de temperatura , hasta que :
2. Se produce un salto a otro modo longitudinal de emisión.



¡Error! Marcador no definido.

Figura 6.27: cambio de la longitud de onda emitida en función de la temperatura

Debido a estas variaciones con la temperatura , se necesitan diseños especiales para poder conseguir una emisión continua de alta potencia.

Confinamiento de la luz dentro de la zona activa

Un factor importante en la construcción de un diodo láser es el confinamiento de la luz dentro del área activa . Dicho confinamiento se acompaña por la deposición de distintos materiales cerca de la zona activa . En consecuencia , la primera clasificación de los láseres de diodo considera los tipos de estructura cercanos a la zona activa (ver fig. 6.28)

El nombre de cada grupo o familia viene dado por el tipo de materiales existentes cerca de la capa activa :

Homojunction laser - Láser de unión homogénea - Todo el láser está constituido por un mismo material , normalmente GaAs - Arsenuro de Galio . En este tipo de estructura simple , los fotones emitidos no están confinados en direcciones perpendiculares al eje del láser , con lo que su eficiencia es muy baja .

Single Heterostructure - Estructura heterogénea simple - En un lado de la capa activa existe otro material con una brecha de energía diferente . Esta diversidad de brechas de energía motiva un cambio en el índice de refracción de los materiales , de modo que se pueden construir estructuras en guía de ondas que confinan a los fotones en un área determinada . Normalmente , la segunda capa es de un material similar al de la primera , solo que con un índice de refracción menor .

Ejemplo: El GaAs - Arsenuro de Galio - y el GaAlAs - Arsenuro de Galio Aluminio - son materiales próximos utilizados habitualmente .

Double Heterostructure - Estructura heterogénea doble - Un material distinto se coloca a ambos lados de la capa activa , con un índice de refracción menor (mayor brecha de energía) . Este tipo de estructuras confinan la luz dentro de la capa activa , por lo que son más eficientes .

Ejemplo: Capa activa de GaAs confinada entre dos capas de GaAlAs.

Distintas Estructuras de los Diodos Láser

Hoy en día una estructura habitual es una tira estrecha de la capa activa (Stripe Geometry - Geometría en tiras), confinada por todos los lados (tanto por los lados como por arriba y abajo) con otro material . Esta familia de láseres se denomina **Index Guided Lasers - Láseres orientados al índice**

TIPO	ESTRUCTURA
Homojunction	
Single Heterojunction	
Double Heterojunction	
Gain-Guided Stripe	
Buried Heterojunction (Index-Guided Stripe Geometry)	

En la figura 6.28 se detallan distintas estructuras de confinamiento utilizadas.

Diodos Láser orientado a Ganancia - Gain Guided

Aislando los electrodos metálicos en las partes superior e inferior , se limita la zona por donde pasa la corriente . Como resultado , la inversión de población sólo tiene lugar en la zona específica por donde pasa la corriente .

Un ejemplo está en la figura 6-28 (última figura) , en donde un electrodo de tira delgada se sobrepone al material láser . La corriente limita el área en la zona activa en donde puede existir el efecto de amplificación , y ésta sólo podrá existir en ésta zona .

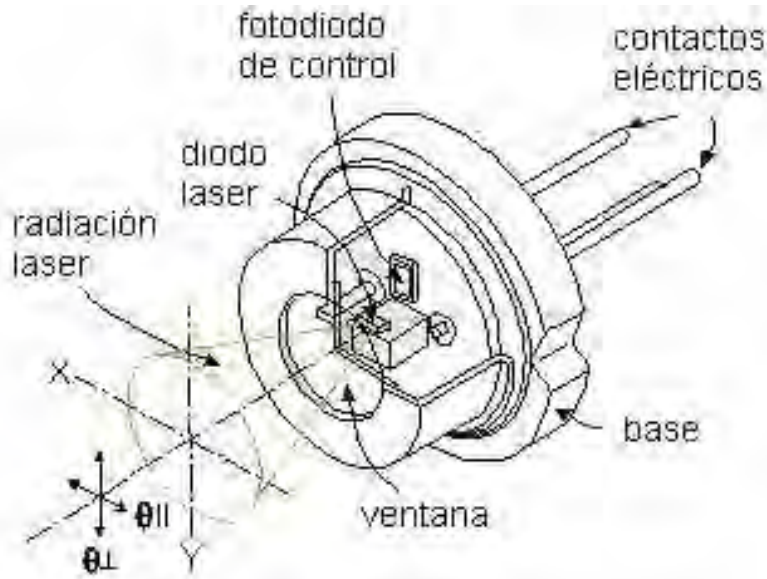
Las ventajas de este tipo de láseres de diodo son :

- 1.Fáciles de producir
- 2.Es relativamente fácil conseguir una potencia alta , ya que al aumentar la corriente aumenta la zona activa .

Las desventajas son :

- 1.La calidad del haz obtenido es menor que con los orientados al índice .
- 2.Es más difícil conseguir una emisión estable en frecuencia simple .

Monturas de los Láser de Diodo



Se requieren monturas especiales para los láseres de diodo, debido a su tamaño miniaturizado, para poder ser operativos y cómodos. Existen muchos tipos de monturas, pero quizás el más estándar es similar a un transistor, e incluye en la montura las ópticas necesarias para colimar el haz (ver figura 6.29)

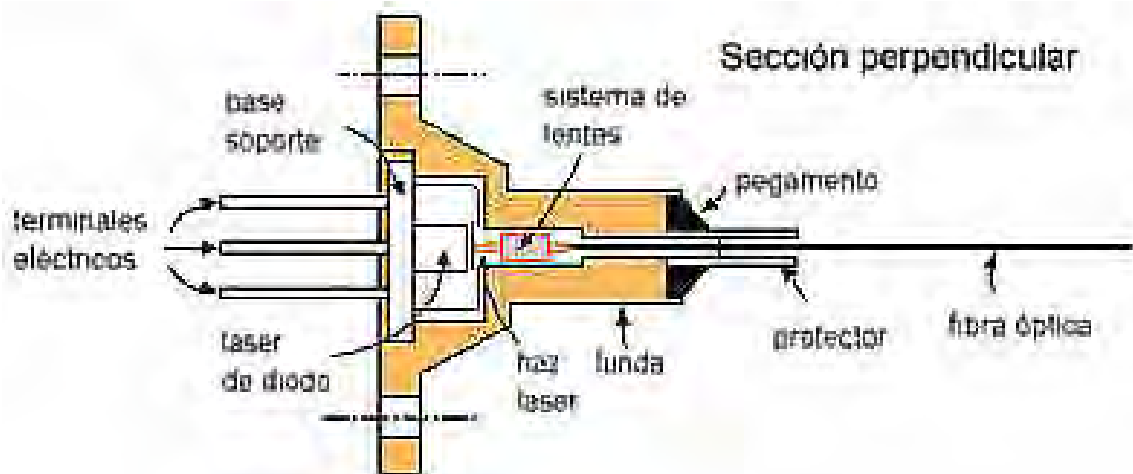


Figura 6.29a: Montura de un láser de diodo comercial

Figura 6.29b: Sección perpendicular

Para poder obtener más potencia de los láseres de diodo, se han desarrollado matrices de diodos láser, que emiten sincronizadamente, y que están ópticamente acoplados, de modo que se alcanzan las décimas de vatio.

Ventajas de los diodos láser

- Son muy eficientes (más del 20% de la energía suministrada se consigue en forma de radiación láser).
- Son muy fiables
- Tienen vidas medias muy largas (¡ estimadas en más de 100 años de operación continuada !).
- Son muy baratos (se construyen con técnicas de producción en masa utilizadas en la industria electrónica)
- Permiten la modulación directa de la radiación emitida , simplemente controlando la corriente eléctrica a través de la unión p-n . La radiación emitida es función lineal de la corriente , pudiéndose modular a décimas de GHz

Ejemplo : En un sistema experimental , y utilizando fibras ópticas de modo simple , se transmite información a 4 [GHz], lo que es equivalente a la emisión simultánea de 50,000 llamadas telefónicas en una fibra (cada llamada ocupa una banda de frecuencia de 64 [KB/s]).

- Volumen y peso pequeños
- Umbral de corriente muy bajo
- Consumo de energía muy bajo
- Banda del espectro estrecha , que puede llegar a ser de unos pocos kilo-Herz en diodos láser especiales

Cavidades ópticas especiales en los diodos láser

La cavidad óptica más simple es la creada al pulir los extremos del cristal de semiconductor del que se compone el láser. El pulido crea un plano perpendicular al plano del medio activo , de modo que es perpendicular al eje del láser.

Debido al alto índice de refracción ($n \approx 3.6$) de los materiales utilizados , la reflexión de la cara pulida es de aproximadamente el 30%. Es posible cambiar esta reflexión utilizando técnicas de metalizado en capas . Un tipo de capa es el 100% reflectante en uno de los lados del diodo láser .

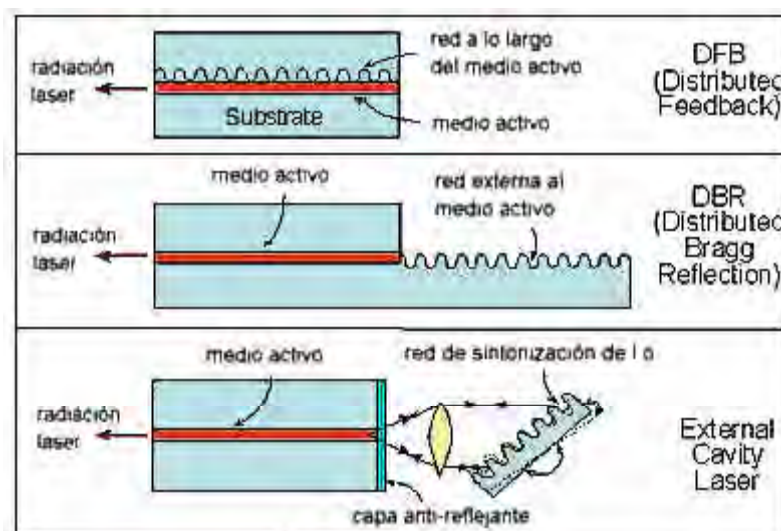
En algún tipo de láser , las pérdidas que atraviesan la capa trasera son utilizadas para controlar la potencia emitida por la parte delantera , obteniéndose una retro-alimentación en tiempo real .

Un tipo distinto y más complicado puede fabricarse integrando una red de difracción cerca de la capa activa del láser. Existen dos tipos de estructura que utilizan redes de difracción en vez de capa espejada en un extremo de la cavidad (ver figura 6.30) :

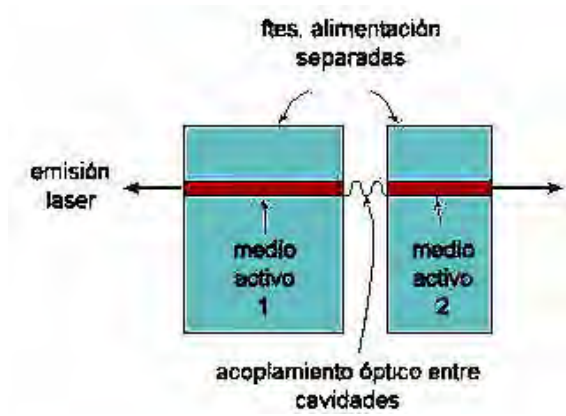
1. *DFB = Distributed FeedBack Laser - - Retroalimentación distribuida* - la red de difracción se distribuye a lo largo de todo el medio activo . La longitud de onda de la red determina la longitud de onda emitida por el láser , en una línea muy fina del espectro.

2. *DBR = Distributed Bragg Reflector - Reflector de Bragg distribuido* - la red de difracción está fuera de la zona activa , en donde no circula corriente (parte pasiva de la cavidad)

Figura 6.30: Cavidades ópticas especiales utilizadas para obtener líneas de emisión estrechas

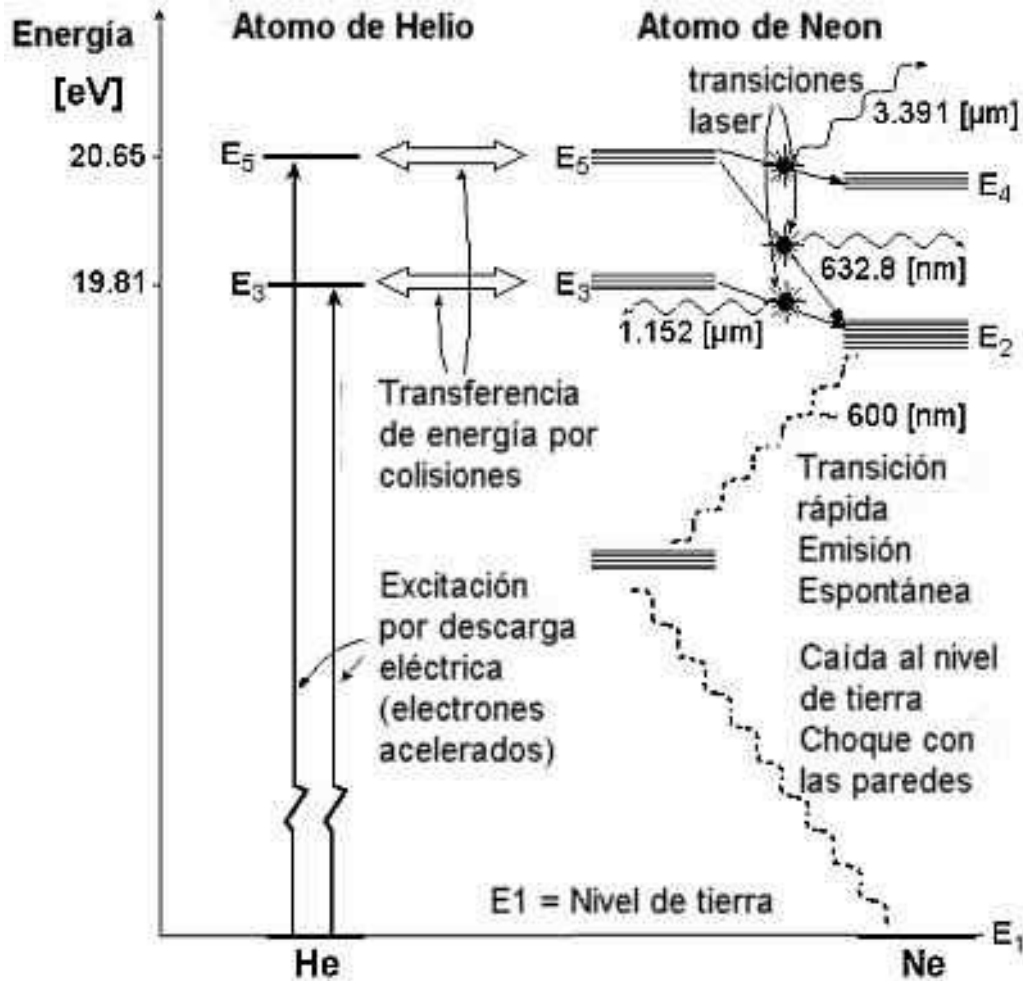


Diodos láser Acoplados



Existen también estructuras especiales en donde dos láseres se acoplan ópticamente . La radiación emitida por el primer láser es transferida al segundo , que es controlado por otra fuente de alimentación . Un ejemplo puede verse en esta figura.

• Láser de He-Ne



El láser de He-Ne ha sido el de mayor difusión hasta la aparición de los **láseres de diodo** visibles . El primero fue construido por Ali Javan en 1961 . El medio activo es un gas noble , el neón , y es un láser de 4 niveles energéticos.

Dos niveles de energía meta-estables actúan como niveles superiores , y tiene dos niveles de baja energía , con lo que pueden existir distintas longitudes de onda emitidas en las posibles transiciones entre niveles.

Las más importantes son :

l.o.1=0.6328 [mm] (632.8 [nm]), l.o.2=1.152 [mm], l.o.3=3.3913 [mm], l.o.4=0.5435 [mm]

El papel que juega el Helio es el de aumentar la eficiencia del proceso de amplificación láser.

Dos efectos hacen del Helio un elemento especialmente valioso :

- # La excitación directa del Neón es muy ineficiente , al contrario que la del Helio
- # Un estado excitado del átomo del Helio (denominado E5) tiene un nivel de energía muy similar a la energía de excitación del átomo de Neón (también denominada E5)

El proceso de excitación de los átomos de Neón tiene dos fases . El alto voltaje aplicado causa que los electrones se aceleren del cátodo hacia el ánodo . Estos electrones colisionan con los átomos de He , transfiriéndoles energía cinética . Los átomos de He excitados colisionan a su vez con átomos de Ne , transfiriéndoles energía para su excitación . En resumen , los átomos de He no participan en el proceso de amplificación láser , pero contribuyen a aumentar la eficiencia de la excitación , en un factor de 200 !

En la mayoría de las aplicaciones del láser de He-Ne se utiliza la línea roja de emisión a 632,8 nm, ya que es la más eficiente, y además visible. Como se indica en la Fig. 6.1, esta luz se emite en la transición de E5 a E2, un salto que es el mayor de los posibles. Un problema es que también aparece la transición E5 a E4, que emite a 3.391 μm , decreciendo la población sin producir radiación visible. La solución a este problema es utilizar una metalización especial en los espejos que reflejan selectivamente sólo luz roja. De este modo la capa metalizada obliga a la luz roja a volver a pasar por el medio activo, mientras que otras longitudes de onda son emitidas al exterior, sin entrar en el proceso de amplificación.

De un modo análogo, podríamos seleccionar las otras longitudes de onda posibles, favoreciendo sólo una de ellas, utilizando recubrimientos selectivos en los espejos. Este método permite la comercialización de láseres de He-Ne que emiten luz visible naranja, amarilla y verde, aunque la eficiencia es mucho menor.

Absorción y Amplificación

A medida que la luz se transmite a lo largo del medio activo, dos procesos contrapuestos actúan sobre la radiación: la absorción y la amplificación. En un láser de He-Ne estándar, la amplificación del medio activo es del orden del 2%, o dicho de otro modo, en una pasada a través del medio activo (de un espejo al otro) la cantidad de energía interna aumenta en un factor de 1.02. En consecuencia, el total de todas las pérdidas posibles - colisiones con las paredes, absorción por otras moléculas, etc. - debe de ser menor del 2% para poder obtener una amplificación.

Además, el láser de He-Ne es un láser de 4 niveles de energía, con lo que la vida media de ocupación de los niveles de baja energía debe de ser muy corta. En el gas Neón, que es el medio activo láser, la transición (decaimiento) al nivel inferior no es lo suficientemente rápida, aunque es acelerada por las colisiones con las paredes del contenedor del gas. Y éstas aumentan si el tubo es estrecho, por lo que el diámetro del tubo debe de ser lo más pequeño posible. La ganancia láser es inversamente proporcional al diámetro del tubo.

La baja ganancia del medio activo en un láser de He-Ne hace que la potencia obtenida sea baja. Aunque a nivel de laboratorio se han alcanzado los 100 mW de emisión, los comercializados emiten entre 0.5 y 50 mW.

El acoplador de salida del tubo es un espejo metalizado con una transmisión - pérdida - del orden de un 1%, lo que significa que la potencia dentro de la cavidad es unas 100 veces mayor que la emitida.

La estructura del láser de He-Ne

El Tubo de plasma :

El tubo de plasma se compone en realidad de dos tubos: un tubo interno delgado, de un diámetro aproximado de 2 mm y una longitud de unos cuantos centímetros (en función de la potencia), y uno externo más grueso de unos 2,5 mm de diámetro, soldado al interno. La función del tubo externo es:

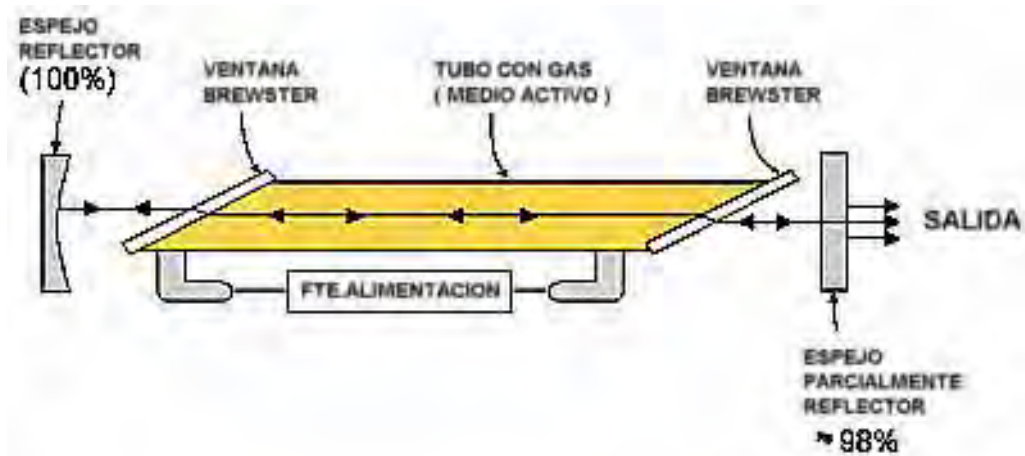
- # obtener una estructura más rígida y estable que protege el tubo interior y los espejos de dilataciones

- # actuar como depósito de reserva que regenera el gas Neón absorbido por el cátodo.

El proceso de amplificación láser tiene lugar dentro del tubo interno, que contiene una mezcla de gases: 85-90% de Helio, y 10-15% de Neón, en una relación que va de 1:6 a 1:10. Esta mezcla está a una presión de 0.01 Atmósferas (≈ 10 [torr]). En los extremos del tubo se incorporan los electrodos conectados a la fuente de alimentación de alto voltaje (AC - alterna o DC-continua)

La Cavidad Óptica :

Normalmente es de tipo semi-confocal, compuesta por un espejo plano que refleja aproximadamente el 98% de la luz - espejo de salida -, y otro espejo cóncavo que refleja el 100%, con una distancia focal igual a la longitud de la cavidad (ver figura 6.2)



Esta disposición de los espejos produce que la radiación emitida es prácticamente un haz paralelo - divergencia muy baja del orden del mili radián . La importancia de ventanas de Brewster es que están en el ángulo de mínima pérdida óptica con polarización definida .

Los láseres actuales más comercializados ya no disponen de esta estructura externa al tubo de plasma , sino que integran los espejos a los propios tubos , por motivos puramente económicos , haciéndolos más manejables , y definen la polarización en función de multicapas aplicadas a los espejos .

La Fuente de Alimentación :

Un láser de He-Ne que proporciona una potencia de emisión de 1 mW utiliza normalmente una fuente de alimentación de corriente continua de alto voltaje - 2.000 V , y debe de ser estabilizada , ya que el láser requiere un suministro constante de electrones.

Para iniciar el proceso láser , es necesario primero ionizar el tubo , lo que se consigue con un pulso inicial de máximo voltaje proporcionado por la fuente de alimentación . Este voltaje se denomina voltaje de ignición o ionización . En el momento de la ionización , la resistencia del tubo de plasma baja abruptamente , lo que implica que el voltaje baja , mientras que la corriente aumenta . Por la ley de Ohms , se comporta como una resistencia eléctrica negativa (decrece el voltaje cuando aumenta la corriente) . Para solucionar este problema , se conecta una resistencia de refuerzo - ballast resistor - muy próxima al ánodo , en serie con la fuente de alimentación , con lo hace de limitador de corriente cuando la resistencia del tubo decrece.

Ejemplo: Un láser operativo a 5 mA , con una resistencia balastro de 60-90 kW soporta un voltaje de 300-450 V

Una vez se ha iniciado la amplificación láser , el voltaje baja a unos 1.100 V , necesarios para mantener el proceso .

Uno de los problemas del láser de He.Ne es el calor generado en el láser y en la resistencia balastro.

Ejemplo: El mismo láser operativo con una corriente de 5 mA , y un voltaje de 1.100 V está generando una potencia eléctrica de $W = V \cdot I = 1100 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = 5.5 \text{ W}$, y la resistencia balastro $W = 1.5 \text{ a } 2.25 \text{ W}$.

Láser comercial de He-Ne

Longitud de onda :	632.8 [nm]
Potencia emitida :	0.5-50 [mW]
Diámetro del haz :	0.5-2.0 [mm]
Divergencia del haz :	0.5-3 [mRad]
Longitud de coherencia :	0.1-2 [m]
Estabilidad en potencia :	5 [%/Hora]

Vida media :

>10,000 [Horas]

(1) El medio activo

Es un conjunto de átomos o moléculas que puede ser excitado hasta conseguir una inversión de población , y del que se puede extraer radiación electromagnética por emisión estimulada.

Puede estar en cualquier tipo de estado de la materia : sólido , líquido , gas o plasma.

El medio activo determina las posibles longitudes de onda que pueden ser emitidas por el láser , debidas a las transiciones posibles entre los niveles energéticos del material.

La lista de materiales que , en ciertas condiciones , pueden constituir un láser , aumenta día a día , siendo ya cientos en la actualidad

El principio básico operativo del láser es similar en todos los casos , y aunque se generaliza hablando de átomos , en realidad el medio activo puede estar compuesto por átomos , moléculas , iones o semiconductores , en función del tipo de láser.

(2) Ventanas de Brewster

Son las ventanas en los extremos de un láser de gas que se utilizan para producir radiación electromagnética polarizada.

Una ventana en ángulo de Brewster con respecto al eje óptico del láser permite el paso de la luz sólo en un plano de polarización.

• El Láser de Nd:Yag

Láseres de Estado Sólido con bombeo óptico

Es estos láseres, el medio activo es un cristal o vidrio. La forma del medio activo consiste normalmente en una barra cilíndrica o rectangular. El medio de excitación entra al medio activo a través de su superficie a lo largo de la barra, mientras que el haz láser obtenido se emite por los extremos de la barra, que normalmente están en ángulo recto con la barra y son pulidos ópticamente.

Los láseres de estado sólido pueden emitir de dos modos : continuo o pulsado.

El bombeo óptico para los láseres pulsantes se efectúa con lámparas de Xenon (o Kripton) , mientras que para los láseres continuos se utilizan normalmente lámparas halógenas o de alta presión de mercurio.

Existen diversos medios para transferir tanta luz de bombeo como sea posible al medio activo. El método más utilizado consiste en utilizar una cavidad óptica elíptica. La lámpara se coloca en uno de los focos del elipsoide, y la barra del medio activo en el otro, tal como se describe en la fig. 6.12

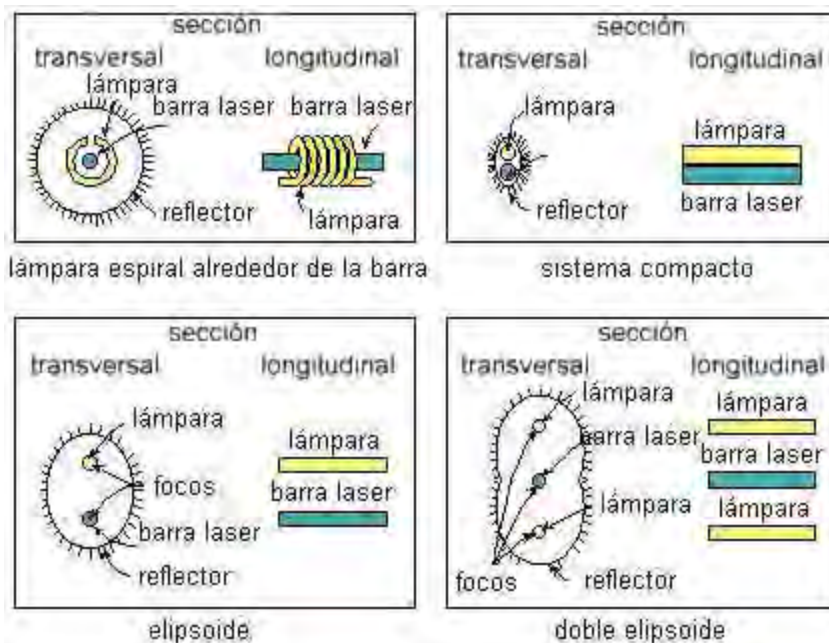


Figura 6.12: Métodos de bombeo óptico en los láseres de estado sólido

Las caras internas de la cavidad están recubiertas con un material reflectante (normalmente oro) , de modo que toda la radiación emitida por las lámparas llegue al medio activo.

En estos últimos años, con el desarrollo de los nuevos tipos de láseres de diodo (ver sección 6.3) de alta potencia, se ha desarrollado un nuevo tipo de bombeo óptico en base a sustituir las lámparas por diodos láser , al ser éstos mucho más selectivos en la longitud de onda emitida , y pudiendo ser ajustados exactamente a las requeridas para el bombeo. De este modo aumenta la eficiencia , con una pérdida mínima de energía. Los láseres de estado sólido bombeados por láseres de diodos se denominan DPSSL - Diode Pumped Solid State Lasers

6.2.2 El Láser de Nd

En este tipo de medio activo, los iones de Nd³⁺ (introducidos como impurezas de hasta un 3 % por peso) reemplazan a los átomos huéspedes del medio activo. Tres huéspedes sólidos son utilizados para el láser de Nd:YAG, en donde se han añadido iones de neodimio Nd³⁺ como impurezas:

Vidrio (Glass) : origina el láser de Nd:glass

Cristal de YAG (Yttrium Aluminum Garnet - itrio dopado con aluminio) : origina el láser de Nd:YAG

Cristal de YLF (LiYF₄ - fluorato de itrio litio) : origina el láser de Nd: YLF denominado también YLF.

La selección del tipo de cristal huésped se efectúa según el tipo de aplicación que quiera darse al láser. El vidrio se utiliza fundamentalmente cuando se requiere un láser pulsado, con pulsos de alta energía y baja frecuencia de repetición. Este puede fabricarse en forma de barra o disco, con diámetros de hasta 0.5 metros y longitud de varios metros. Ello es posible al ser el vidrio un material isotrópico, barato y fácil de manipular. Puede añadirse hasta un 6 % de impurezas en forma de iones de Nd. El problema estriba en su baja conductividad térmica, con lo que la refrigeración en operación continua o a alta repetitividad es muy difícil.

El cristal de YAG se utiliza para obtener pulsos de alta repetitividad (más de uno por segundo) El motivo es su alta conductividad térmica, que permite disipar más fácilmente el calor generado. Los cristales de YAG con la calidad necesaria pueden ser de hasta 2 a 15 mm de diámetro y longitudes de 2 a 30 cm. El porcentaje de impurezas es de un 1 a un 4 %, y el proceso de crecimiento del cristal es lento y complicado, de ahí su alto precio.

Diagrama de Niveles de Energía del láser de Nd-YAG

Este está reflejado en la fig. 6.15.

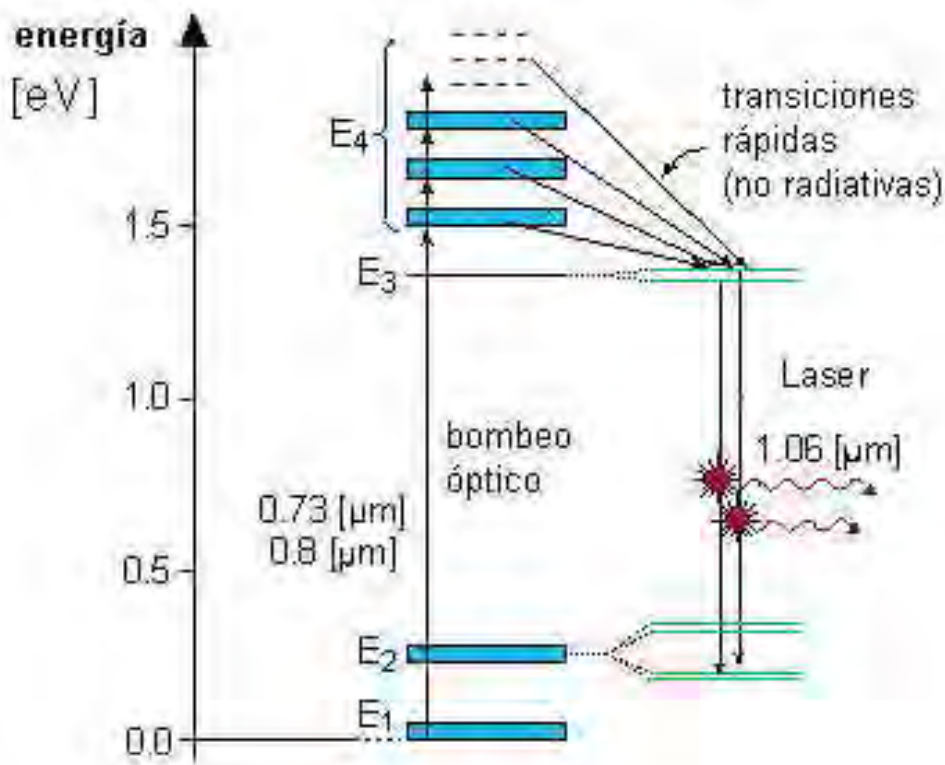


Figura 6.15: Diagrama de Energías del láser de Nd-YAG

Como puede apreciarse en el diagrama, los láseres de Nd:Yag tienen cuatro niveles de energía. Los iones de Nd tienen dos bandas de absorción, y la excitación se puede efectuar por bombeo óptico, ya sea con lámparas de flash para láseres pulsantes, con lámparas de arco para los láseres continuos, o recientemente con diodos láser.

Desde los niveles excitados, los iones de Nd son transferidos a un nivel inferior mediante transiciones no radiativas. La emisión estimulada tiene lugar desde estos niveles a otros inferiores, emitiendo fotones a una longitud de onda de 1.06 micras. Posteriormente tienen lugar más transiciones no radiativas hasta el nivel fundamental.

Láseres de Nd pulsados

Los láseres de Nd:glass pueden emitir una gran cantidad de energía en un pulso simple, pudiéndose utilizar por ejemplo en la fusión por láser (ver cap. 9.5.2)

Normalmente los láseres pulsados de Nd emiten con energías por pulso que oscilan entre 0.01 y 100 J , con frecuencias de repetición de hasta 300 Hz , pudiendo ser las energías medias elevadas.

Existen también los láseres denominados Q-switch (con obturación Q). En éstos, mediante un cristal electro-óptico intra-cavidad , se almacena energía dentro del medio láser, produciendo pulsos con una repetitividad determinada a voluntad, y de alta energía. El almacenamiento se produce al bloquear la capacidad del resonador de oscilar - amplificar -, manteniendo el factor Q de la cavidad bajo , y acumulando energía.



www.guemisa.com **SENSORES E INSTRUMENTACION GUEMISA S.L.**
C\ La Fundación 4 Bis - Pl 1ª Oficina-2
28522 Rivas Vaciamadrid (Madrid)
Telf. 91 764 21 00 email: ventas@guemisa.com

NIF: B-87969416