

Construcción de un láser de fibra óptica

Aguilar Mayorga Andrea Alejandra, Hernández Rangel Estefania Alejandra, Mendoza Rosas Oscar Manuel, Pérez Ramírez Juan Carlos, Segoviano Caudillo Isael Aaron, Vázquez Monzón Jesús Eliseo.

Universidad de Guanajuato
División de Ciencias e Ingenierías - Campus León
Lomas del Bosque 103, Lomas del Campestre, 37150 León, Gto

Responsable de proyecto:
Dr. Lucio Martínez José Luis
Agradecimiento especial a la Dra. Alejandrina Martínez y Jhoanna Granados Ruiz por su guía y cátedra en el laboratorio.

Láser de fibra óptica

Un Láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) es una fuente de luz **coherente**, es decir, las ondas de luz que la componen están en fase, generando un haz de un diámetro o **cintura** muy pequeño y de un color y una longitud de onda específica. Este tipo de luz no se presenta de manera natural en el medio, por lo que para generarla es necesario una amplificación de fotones.

Para la construcción de un láser es necesario contar con 3 elementos principales: bombeo, una cavidad óptica, y un medio amplificador o medio activo, éste último puede ser líquido, sólido o gaseoso, sin embargo, en el caso de un láser de **fibra óptica**, el medio activo es una fibra dopada con algún elemento de tierras raras, siendo los más comunes erbio, iterbio, neodimio, disprosio, praseodimio, tulio y holmio.

El principal objetivo de un láser de fibra es partir de un láser de "mala calidad", es decir, baja coherencia y potencia, y a través de el arreglo de fibras y espejos mejorar sus propiedades, resultando un láser de mucho mejor coherencia y alta potencia. Aunado a esto, la ventaja de un láser de fibra es que es de fácil transporte y altamente efectivo.

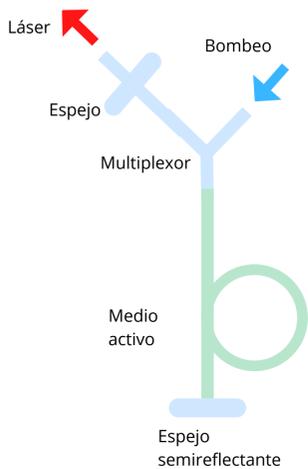


Gráfico 1.- Diseño del láser de fibra óptica fabricado.

El diseño y los elementos que se utilizan en la construcción pueden variar dependiendo de los objetivos o de los materiales con lo que se cuentan, haciendo de la optimización de recursos una prioridad.

1.- Bombeo

El bombeo consiste en suministrar constantemente la energía (fotones) que requiere el medio activo para realizar el proceso llamado **inversión de población** y posteriormente conseguir una **emisión estimulada** de fotones.

Esta energía puede provenir de una fuente de luz convencional, en este caso en particular será provista por otro láser.

La elección del tipo de fuente de bombeo dependerá del material que se utilizará como medio activo, es decir, de las propiedades cuánticas de los átomos dentro, tales como la **sección eficaz**, que indica la probabilidad de que el átomo interactúe favorablemente con el fotón incidente.

Esta interacción está limitada por la longitud de onda que le es permitido absorber al átomo, la cuál debe ser igual a la longitud de onda emitida por nuestra fuente de bombeo, de ahí la importancia de su elección.

En este caso, el yterbio cuenta con una sección eficaz convenientemente amplia, por lo que el bombeo a 980 nm es una opción favorable. A este tipo de bombeo (por medio de luz) se le conoce como **bombeo óptico**.



Imagen 2.- Luz dentro de la fibra dopada, el erbio emite un verde característico al ser bombeado.



Imagen 1.- Láser semiconductor de 980 nm usado como fuente de bombeo.

2.- Medio activo

El medio activo se refiere al o los elementos a los cuales se les bombardea con fotones, produciendo así la emisión estimulada y por consiguiente el aumento de luz. En este caso se trabajó con lo que se conoce como **Erbium-Doped Fiber Amplifier (EDFA)** o un amplificador de fibra dopada con erbio. Este elemento es comúnmente usado en láseres fibra, específicamente en telecomunicaciones debido a que tiene un pico de ganancia que coincide con la longitud de onda de menos pérdidas del sílice (material con el que está hecha la fibra óptica).

La elección de la mezcla de elementos dentro del medio viene de la mano con la longitud de onda de bombeo.

Para escoger un bombeo correcto es necesario conocer el espectro de emisión y absorción de los elementos dopantes.

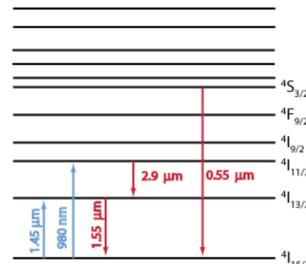


Gráfico 2.- Diagrama de niveles de energía del erbio. Obtenido de https://www.rp-photonics.com/erbium_doped_laser_gain_media.html. Accedido el día 23/07/2022

Dentro del **diagrama de niveles de energía** de los iones de Erbio, observamos que los primeros tres estados se comportan como un láser de tres niveles, emitiendo a una longitud de onda al rededor de 1550 nm. Esto es, bombeando a una longitud de 980 nm le corresponderán 2 **transiciones radiativas**, es decir, emitirá luz de 2.9 nm y 1550 nm de longitud de onda, la cuál es la que se desea obtener.

Para el erbio, suele ser complicado excitarse al estado $4I_{11/2}$ estado en el cual tendrá la emisión de 1550.

Es por eso que se suele **co-dopar** la fibra con Yterbio, el cual, gracias a su sección eficaz amplia, absorbe eficientemente el bombeo de 980 nm, transfiriendo parte de la energía al erbio haciendo posible que se alcance el nivel de energía requerido.

Los niveles de energía son datos promedio, sin embargo es posible llegar a la misma conclusión observando los espectros de emisión y absorción a través de un osciloscopio, incidiendo luz sobre el material.

3.- Cavidad óptica

Los fotones que son producidos mediante la emisión estimulada son confinados en la región llamada cavidad óptica, ésta es un arreglo de espejos que mantienen la luz dentro de cierta área por medio de reflexión.

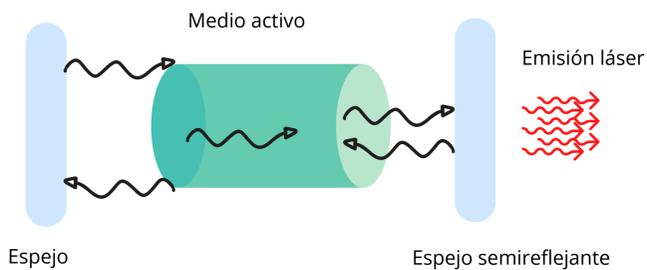


Gráfico 3.- Función de la cavidad resonante utilizando 2 espejos.

La cavidad se compone básicamente de 2 espejos, uno de los cuales debe tener un índice de reflexión considerablemente mas bajo que el otro, de esta manera, parte de la luz almacenada se transmitirá hacia el exterior en forma de rayo láser.

Se puede utilizar una **rejilla de Bragg** como primer espejo, la cuál es un tipo de reflector construido en el interior de una fibra óptica, esta rejilla refleja solo ciertas longitudes de onda y refleja las demás.

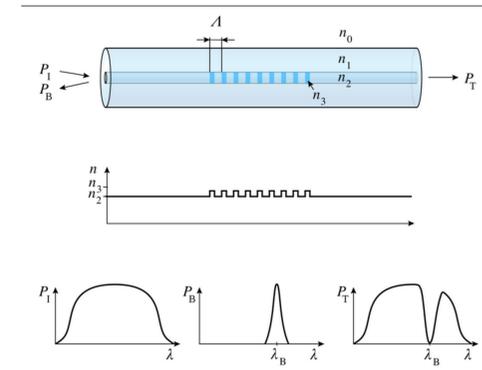


Gráfico 4.- Ejemplificación del funcionamiento de una rejilla de Bragg. Obtenido de https://no.wikipedia.org/wiki/Fiber_Bragg_Grating#/media/File:Fiber_Bragg_Grating.svg. CC BY-SA 3.0. Accedió el día 23/07/2022

Las rejillas son pequeñas variaciones periódicas del índice de refracción en el núcleo de la fibra, generando así un espejo dieléctrico específico de la longitud de onda.

Para el caso del láser construido se implementó una rejilla de Bragg la cual permitía el paso de una longitud de onda de 1550 nm aproximadamente.

Las rejillas no pueden variar la longitud que reflejan, es por eso que su elección es específica para el arreglo de fibras que se han montado. El medio activo emite una longitud de onda de 1550 nm, longitud permitida por la rejilla.

Existen varios materiales que realizan la función de un segundo espejo, desde un corte de alta precisión que permita una semireflexión, una rejilla de Bragg como la antes mencionada o una microesfera semireflectante, cuyo uso como espejo no es muy conocido, sin embargo realiza interesantes aportes al láser de fibra, pues refleja exactamente la longitud de onda que le incide, y su confección es notoriamente mas barata que las rejillas o espejos, haciéndola una opción factible para el futuro desarrollo de láseres.

Sin embargo, para éste caso se optó por el uso de un **espejo de Faraday** ya que mejoraba los resultados dada la estructura del láser.

Referencias

- Okamoto, K. (2006). Fundamentals of Optical Waveguides, Second Edition (Optics and Photonics Series) by Katsunari Okamoto (2005–12-27) (2.a ed.). Academic Press.
- G. G. Vienne et al., "Fabrication and characterization of Yb³⁺:Er³⁺ phosphosilicate fibers for lasers", J. Lightwave Technol. 16 (11), 1990 (1998)
- Arellano, H. (2006). *Aplicación de las rejillas de Bragg en fibra óptica para medición de vibraciones en eventos de baja frecuencia* [Tesis de maestría, Centro de Investigaciones en Óptica]
- Hernández et al. (2022) *Construcción de Láser de fibra óptica* (1). León, Gto.:División de Ciencias e Ingenierías de la Universidad de Guanajuato.
- Hitz, B. C., Ewing, J. J., & Hecht, J. (2012). Introduction to Laser Technology (English Edition) (4.a ed.). Wiley-IEEE Press.
- Gerry, P. Knight, and P.L. Knight. Introductory Quantum Optics. Cambridge University Press, 2005.
- Hernández, J. (2011). MODELO DE UN LÁSER DE FIBRA ÓPTICA DOPADA CON ERBIO CONSIDERANDO LA ABSORCIÓN DE ESTADO EXCITADO PARA LONGITUDES DE ONDA DE BOMBEO Y DE LASEO " [Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones en Óptica]



Imagen 3.- Formación de una microesfera por medio de arcos eléctricos de una empalmadora.