

Láser de fibra con emisión dual seleccionable usando rejillas de bragg de fibra y fibra dopada con erbio

M. Durán-Sánchez^a, E.A. Kuzin, B. Ibarra-Escamilla, M. Bello-Jiménez y A. Flores-Rosas
*Instituto Nacional de Astrofísica óptica y Electrónica (INAOE),
Luis Enrique Erro No. 1 Tonanzintla, Puebla, 72000, México,
e-mail: manueled@inaoep.mx, ekuz@inaoep.mx*

G. Beltrán Pérez
*Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,
Av. San Claudio esquina 18 sur; Col. San Manuel, Puebla, Pue., 72320, México,
e-mail: gbeltran@fcfm.buap.mx*

J.L. Hernández Rebolgar
^a*Centro de innovación tecnológica, Universidad Tecnológica de Puebla,
Antiguo Camino a la resurrección No. 1002-A, Zona Industrial, Puebla, Pue., México, 72300,
e-mail: jhernandez@citec.utpuebla.edu.mx*

Recibido el 21 de noviembre de 2008; aceptado el 6 de junio de 2009

Un láser de fibra con emisión de longitud de onda dual seleccionable es propuesto y demostrado experimentalmente basado en rejillas de Bragg de fibra usando una cavidad lineal, ajustando el traslape de las rejillas de Bragg y el ancho de banda homogéneo de línea de ganancia de la fibra dopada con erbio (EDF, *Erbium-doped fiber*). La sola o dual longitud de onda es obtenida igualando la longitud de onda de las rejillas de Bragg.

Descriptores: Láseres de fibra; láser de fibra seleccionable; amplificadores de fibra dopada con erbio; rejillas de Bragg.

A switchable dual wavelength fiber laser is proposed and experimentally demonstrated based on fiber Bragg gratings by using a linear cavity, adjusting the overlap on the Bragg gratings and the homogeneous gain broadening of the erbium doped fiber (EDF). The single or dual lasing wavelength can be also obtained by matching the wavelength of the Bragg gratings.

Keywords: Fiber lasers; switchable fiber laser; erbium doped fiber amplifiers (EDFAs); fiber Bragg gratings.

PACS: 42.55.Wd; 42.60.Da; 42.81.Pa

1. Introducción

Los láseres de fibra óptica de múltiple longitud de onda son dispositivos que han generado mucho interés debido a sus aplicaciones en diversas áreas de investigación, que incluyen sensores de fibra óptica, multiplexión por longitud de onda (WDM, *Wavelength Division Multiplexer*), en sistemas de comunicaciones ópticas y en instrumentación [1-3]. Se consideran fuentes ópticas rentables debido a sus ventajas, por ejemplo, la operación de múltiple longitud de onda, el bajo costo, estructura simple y la pérdida de inserción baja. Varios métodos láseres de múltiple longitud de onda que utilizan rejillas de Bragg de fibra (FBG, *Fiber Bragg gratings*) han sido demostrados, tales como, FBG grabadas en fibras que mantienen la polarización, cavidades conectadas en cascada o en anillo con FBG, FBG escritas en fibras de alta birrefringencia o en fibras multimodo [4-11], esto debido a que las rejillas de Bragg de fibra tienen muchas ventajas sobre otros dispositivos ópticos, tales como facilidad de fabricación, compatibilidad en la fibra, selección de cualquier longitud de onda y bajo costo.

También varias técnicas para reducir la competición de la longitud de onda causada por la ganancia del ensanchamiento homogéneo de la fibra dopada con erbio (EDF) se han utilizado para alcanzar oscilaciones estables de múltiple longitud de

onda [8-11]. En estos diseños, las pérdidas de la cavidad que corresponden a diversas longitudes de onda tienen que ser balanceadas con la ganancia de la cavidad simultáneamente. Consecuentemente, todas las líneas de oscilación tienen el mismo umbral de bombeo, y las características de una longitud de onda específica se ajustan por medio de atenuadores ópticos variables y de controladores de polarización. Sin embargo, estos métodos tienen una pequeña desventaja, ya que utilizan componentes en sus arreglos experimentales costosos como circuladores ópticos, atenuadores ópticos variables, controladores de polarización o fibras especiales y configuraciones complicadas.

En el presente artículo nosotros presentamos una simple configuración de un láser dual seleccionable de longitud de onda con fibra dopada con erbio basado en rejillas de Bragg de fibra. El sistema implementado está formado por cuatro rejillas de Bragg de fibra, dos rejillas colocadas como referencia y dos con longitud de onda de reflexión menor, esto para igualar la longitud de onda de las rejillas, de tal manera que al traslaparse la longitud de onda de éstas generen emisión láser. Para distinguir las dos cavidades simultáneamente, se midió experimentalmente la longitud de onda con un analizador de espectros óptico; se demuestra que es posible utilizar este arreglo como un láser seleccionable y como láser con emisión dual.

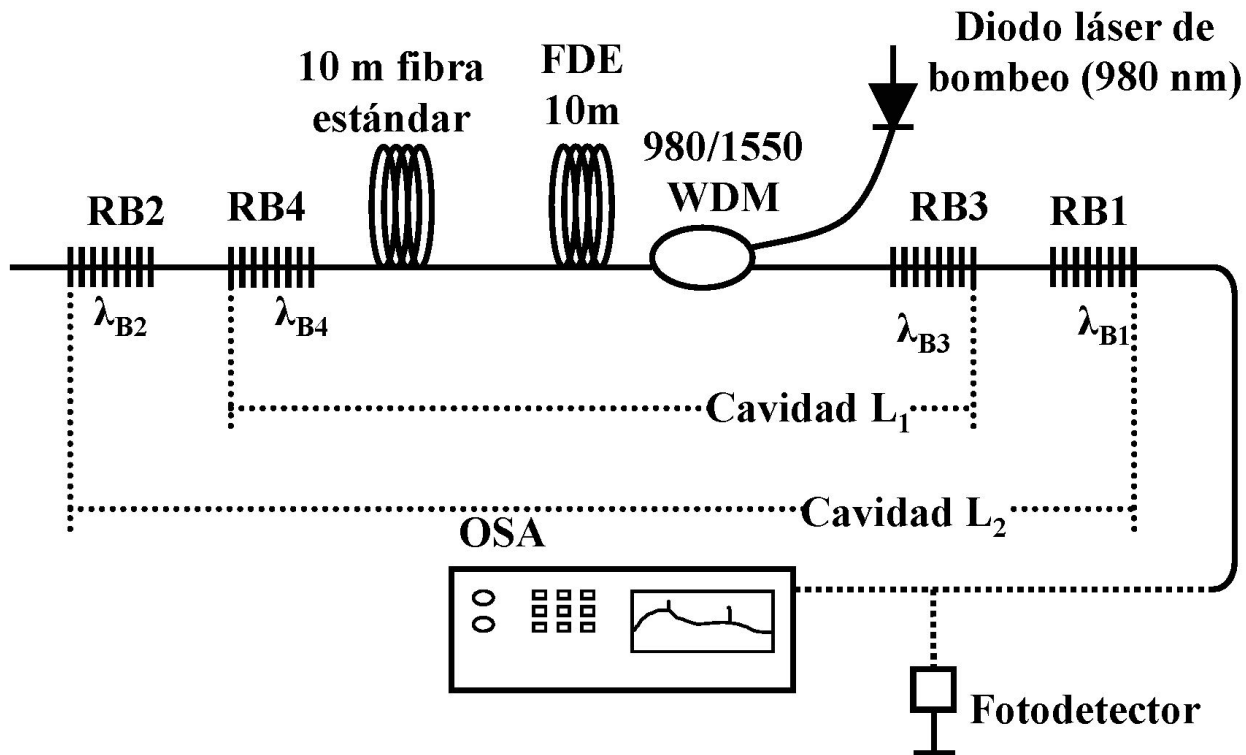


FIGURA 1. Arreglo experimental del láser de fibra con emisión dual seleccionable usando rejillas de Bragg de fibra y fibra dopada con erbio.

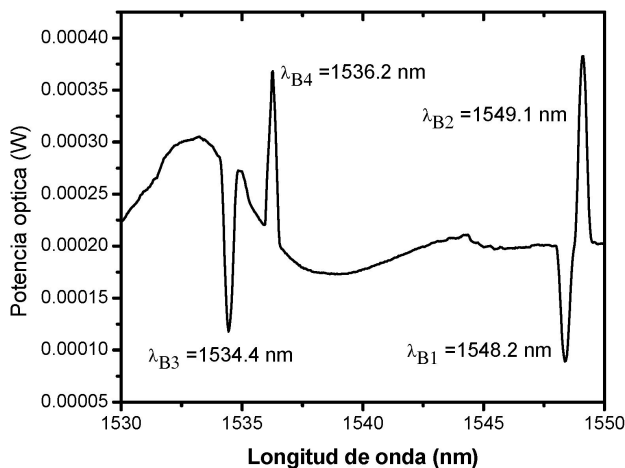


FIGURA 2. Espectro óptico de la fibra dopada con erbio y las rejillas de Bragg centradas a 1534.4, 1536.2, 1548.2 y 1549.1 nm.

2. Arreglo experimental

En la Fig. 1 se muestra el arreglo experimental del sistema, el cual consiste en un diodo láser de bombeo de 980 nm (JD-SU, 2700-TE Series) acoplado a una fibra dopada con erbio por medio de un WDM. La fibra dopada con erbio tiene una longitud de 10 m. Las rejillas de RB1 a RB4 (fabricadas por BRAGG Photonics) fueron unidas por fusión tal como se muestra en el arreglo. En el extremo libre de RB4 ($\lambda_{B4} = 1536.2$) se empalmó la fibra dopada con erbio a través de 10 m de fibra pasiva, y la rejilla RB3 ($\lambda_{B3} = 1534.4$)

fue unida al WDM. Para realizar las mediciones correspondientes, se colocó el analizador de espectros óptico (OSA) y un fotodetector en el extremo libre de RB1 ($\lambda_{B1} = 1548.2$). La rejilla RB1 se fijó por un extremo y se estiró por el otro con un tornillo micrométrico (con desplazamientos de $10 \mu\text{m}$). De igual forma se hizo para RB3 para igualar a RB2 ($\lambda_{B2} = 1534.4$). Al ser estiradas las rejillas se genera una tensión longitudinal que hace que varíen las propiedades ópticas de las rejillas en proporción a la tensión aplicada y como resultado se tiene un corrimiento en la longitud de onda de Bragg. Los cambios de longitud de onda en la rejilla de Bragg ($\Delta\lambda_B$) debido a los cambios de tensión están dados por [12]

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(1 - p_e)\varepsilon, \quad (1)$$

en donde p_e es la constante de tensión óptica efectiva, λ_B es la longitud de onda de Bragg y ε es la tensión aplicada.

3. Resultados y discusiones

En nuestro arreglo experimental se puede observar que RB3 - RB4 forman la cavidad interna ($L_1 = 26$ m) y RB1 - RB2 forman la cavidad externa ($L_2 = 31$ m). Para que exista una cavidad láser en nuestro arreglo, es necesario igualar las longitudes de onda de Bragg de las rejillas que forman las cavidades, esto se logra estirando las rejillas RB1 y RB3.

En la Fig. 2 se muestra el espectro de las rejillas en reposo, conjuntamente con el espectro de la fibra dopada con erbio, generado por una potencia de bombeo de 30 mW, para esto se utilizó el OSA colocado directamente a la salida de

RB1. De esta figura podemos observar con detalle el espectro óptico del arreglo experimental, la transmitancia de RB1-1548.2 y RB3-1534.4 nm y la reflectancia de RB2-1549.1 y RB4-1536.2 nm esto debido a la posición de salida en nuestro arreglo.

Como ya se ha mencionado, inicialmente las FBG tienen longitudes de onda de Bragg diferentes, por lo tanto para que exista una cavidad láser con emisión óptima, es necesario igualar estas longitudes de onda. En principio, el fenómeno de emisión estimulada se genera en el momento que $\lambda_{B1} = \lambda_{B2}$ o $\lambda_{B3} = \lambda_{B4}$. Sin embargo, esto no es del todo cierto, debido a que conforme los espectros de las rejillas se van acercando, existen longitudes de onda en un área de traslape que son reflejadas dentro de la cavidad, lo cual permite su amplificación y generar emisión láser aunque con una intensidad menor. Por lo anterior, podría esperarse que exista alguna relación entre la intensidad de salida del láser y la magnitud de la variable física que provoca el corrimiento de λ_B .

Para evaluar esta dependencia se utilizó un medidor de potencia convencional en el punto de salida del sistema mientras se inducía un estiramiento sobre la rejilla RB1. Los resultados de este experimento para la cavidad L2 se muestran en la Fig. 3, en donde se grafica la potencia óptica obtenida contra el estiramiento de la rejilla en micrómetros. Para estiramientos pequeños, la potencia óptica comienza a incrementarse muy lentamente hasta un punto en donde el incremento es prácticamente lineal, después de esto comienza a saturarse y finalmente alcanza un punto máximo. Si se continúa estirando la rejilla, se obtiene el efecto inverso (no mostrado). Es claro que esta dependencia no es lineal, sin embargo puede encontrarse una región de operación eligiendo un estiramiento inicial (con un pequeño traslape entre los espectros) y un rango de medición adecuados, como se muestra en la figura. El perfil de este comportamiento probablemente se encuentra relacionado con el perfil de los espectros de reflectancia de

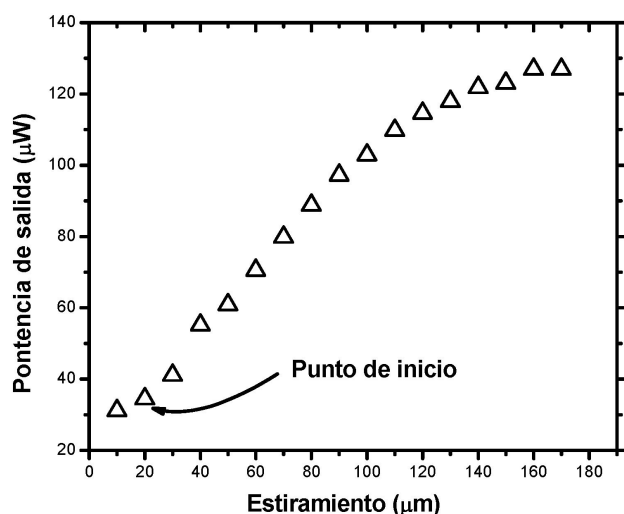


FIGURA 3. Dependencia de la potencia óptica respecto del estiramiento de la FBGs.

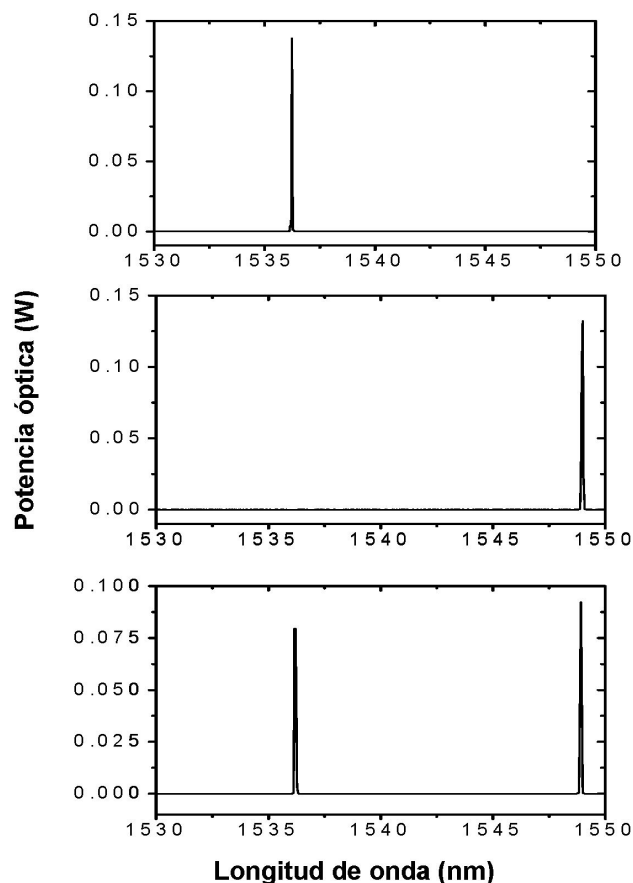


FIGURA 4. Mediciones del espectro óptico del láser dual seleccionable propuesto. (a) Láser de 1536 nm cuando $\lambda_{B2} = \lambda_{B3}$; (b) láser de 1548 nm cuando $\lambda_{B1} = \lambda_{B4}$; (c) emisión láser dual.

las rejillas. Este fenómeno puede usarse para variar las características de esta curva, con la adecuada elección de los perfiles de las FBG, pudiendo obtenerse un intervalo mayor, diferentes sensibilidades, etc.

La Figs. 4a y 4b muestran la operación cambiante en una sola longitud de onda láser de fibra propuesta. Obtuvimos con éxito el funcionamiento oscilante de la selección de la longitud de onda estirando las rejillas RB1 o RB3. Como se ve en la Fig. 4a la longitud de onda del láser 1 en la cavidad L1 fue generado estirando la rejilla RB3 e igualando con RB2, donde se puede observar que la cavidad L2 es anulada. De la misma manera como se muestra en la Fig. 4b se genera el láser 2 estirando RB1 hasta igualar la longitud de onda con RB4, la cavidad L1 ha desaparecido al entrar en resonancia el láser 2. Por lo tanto, podríamos seleccionar la longitud de onda laseando L1 a la otra longitud de onda L2. Cuando estiramos las rejillas hay una sección de traslape entre éstas, podemos conseguir pérdidas similares en las cavidades ajustando este traslape y así alcanzar la operación láser dual. En la Fig. 4c se muestra el espectro de salida del láser dual en dos longitudes de onda laseando cuando las dos pérdidas de cavidades son similares, controlando esto con los tornillos micrométricos usados para estirar las rejillas. Nosotros monitoreamos

las dos líneas láser por varios minutos, y no notamos variación en la potencias de salida de los picos.

4. Conclusión

En el presente trabajo se realizó un estudio experimental, acerca del comportamiento de emisión de un láser de FDE de longitud de onda seleccionable basado en rejillas de Bragg, usando la pérdida lineal de la cavidad controlada y la ganancia del ensanchamiento homogéneo de la FDE. Se reporta la construcción de un láser que está formado por una cavidad interna de 26 m y un cavidad externa de 31 m. La operación de selección de la longitud de onda fue lograda por efecto

de la ganancia del ensanchamiento homogéneo de la FDE y el ajuste apropiado de pérdidas en el traslape de las rejillas para las dos cavidades. Estos resultados nos permiten contar un con láser dual versátil, el cual tiene la ventaja de operación estable, una simple configuración, facilidad práctica, etc. Este láser promete muchas aplicaciones en sistemas de comunicaciones ópticas, sensores de fibra, etc.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido apoyado por proyecto PROMEP 103.5/07/2764

-
1. A.D. Kersey y W.W. Morey, *Electronics Letters*, **29** (1993) 964.
 2. S.V. Chernikov, R. Kashyap, P.F. McKee y J. R. Taylor, *Electronics Letters* **29** (1993) 1089.
 3. Duan Liu, Nam Quoc Ngo, Swee Chuan Tjin y Xinyong, Dong, *IEEE Photonics Technology Letters* **19** (2007) 1148.
 4. Dae Seung Moon, Un-Chul Paek y Youngjoo Chung, *Optics Express* **12** (2004) 6147.
 5. Namkyoo Park, Jay W. Dawson y Kerry J. Vahala, *IEEE Photonics Technology Letters* **4** (1992) 540.
 6. Chun-Liu Zhao *et al.*, *Microwave and Optical Technology Letters* **41** (2004) 73.
 7. Dae Seung Moon, Guoyong Sun, Aoxiang Lin, Xueming Liu y Youngjoo Chung, *Optics Communications* **281** (2008) 2513.
 8. Y.Z. Xu, H.Y. Tam, W.C. Du y M. S. Demokan, *IEEE Photonics Technology Letters* **10** (1998) 334.
 9. Qinghe Mao y J.W.Y. Lit, *IEEE Photonics Technology Letters* **14** (2002) 612.
 10. Young-Geun Han y Ju Han Lee, *Microwave and Optical Technology Letters* **49** (2007) 1433.
 11. L. Taleverano, S. Abad, S. Jarabo y M. López-Amo, *Journal of Lightware Technology* **19** (2001) 553.
 12. S.M. Melle *et al.*, *IEEE Photon. Technol. Lett.* **5** (1993) 263.