

ARREGLO LINEAL DE FIBRAS PARA ACOPLAR LA EMISION DE UN DIODO LASER DE ALTA POTENCIA

D. Krygier, L.Fidalgo, M.Kovalsky, A.Hnilo, F.P. Diodati.

Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP)
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las Fuerzas Armadas (CITEFA) – CONICET
Juan Bautista de La SALLE 4397 (B1603DAZ) Villa Martelli, Pcia. de Buenos Aires
e-mail: dkrygier@citefa.gov.ar, pdiodati@citefa.gov.ar

A fin de coleccionar con óptima eficiencia la potencia luminosa provista por un diodo Láser de 20W, se implementó un dispositivo construido con fibra óptica, que permite transformar el perfil lineal de radiación proveniente de la juntura emisora en uno con geometría circular más adecuado para la utilización de dicha potencia luminosa. Mediante un modelo sencillo para describir el mecanismo de acoplamiento se estudió la influencia de distintos parámetros de interés, como son el diámetro del núcleo y la apertura numérica de la fibra así como la disposición espacial del arreglo de emisores que conforman la juntura del diodo. Se contrastaron resultados predichos por el modelo, con la eficiencia global resultante y con la medición del perfil transversal de emisión láser.

In order to collect with optimum efficiency the luminous power provided by a 20W laser diode, a fiber optic system that transforms the linear shape of the diode juncture into a circular pattern was built in order to better match the luminous power to where it will be used. A simple model describing the coupling mechanism was implemented in order to study the influence of different parameters like fiber core diameter, numeric aperture, and the spatial configuration of the emitter's array in the diode juncture. Model results were compared with the measured global efficiency and with the experimental spatial profile.

I. INTRODUCCION

La excitación de un medio activo sólido a partir de un laser de diodos puede realizarse por bombeo transversal o longitudinal respecto al eje de la cavidad óptica de oscilación. Ello implica adaptar los parámetros geométricos de la radiación de bombeo a las dimensiones y forma que presenta el medio activo. Los diodos láser de alta potencia y costo no prohibitivo, están constituidos por una batería de diodos dispuestos en forma lineal de modo que terminan generando una suerte de juntura semiconductor de espesor micrométrico con anchos típicos de 1cm, cuyo perfil de radiación astigmático presenta una fuerte divergencia en ambos planos de propagación.

Si se opta por implementar un mecanismo de excitación longitudinal, como en el presente caso, será conveniente contar con un haz que pueda ser enfocado sobre el bloque de medio activo y posea dimensiones acordes a la forma y tamaño del modo fundamental de oscilación de la cavidad óptica. Se estima conveniente que el área de excitación sea lo más circular posible con un tamaño del orden del mm. Conseguir esta condición de trabajo requiere modificar drásticamente el frente de onda del haz emergente del conjunto de diodos, siendo necesario además coleccionar la radiación lo más cerca de la juntura, para evitar mayores pérdidas además de enfocar la emisión compensando las distintas divergencias del eje rápido y el lento.

II. CARACTERIZACION DE LA BATERIA DE DIODOS LASER

El dispositivo láser con el cual se trabajó consiste de una batería de diodos láser (modelo ASM808-20W2), conocido también como *stack* de diodos, capaz de emitir hasta 20W de potencia en 808nm. Se trata de un arreglo

periódico de 46 emisores individuales que conforman una juntura lineal de 1cm de ancho y 1µm de altura. Cada emisor ocupa un ancho (L_{emisor}) de 80µm habiendo una separación (*pitch*) de 200µm entre centros emisores contiguos. La divergencia del haz es de 40° en dirección perpendicular a la juntura (*eje rápido*) y de 10° en la dirección paralela (*eje lento*). El *stack* se fija a una plataforma metálica refrigerada por circulación de agua, a fin de asegurar un funcionamiento estable y de prolongar su vida útil. La alimentación eléctrica proviene de una fuente de corriente que alcanza un máximo de 30A para una tensión cercana a 2V, y permite regular la potencia óptica emitida por el diodo ajustando la corriente de trabajo.

Primeramente se relevó el perfil espacial de emisión a lo largo de la juntura láser. Empleando una fibra como sonda, montada sobre un carrito deslizante de paso micrométrico, se barrió lateralmente el frente completo de la juntura midiendo la luz transmitida con un radiómetro.

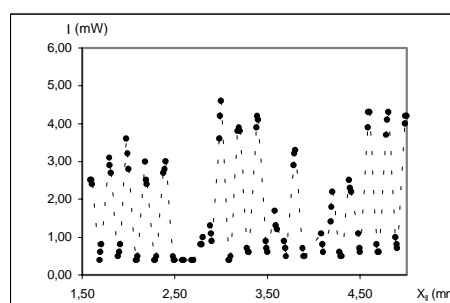


Figura 1: Perfil de emisión del Diodo Láser. Diámetro de la fibra (núcleo/cladding): 125µm/190µm. Separación Juntura-Fibra: 0,15mm. $I = 9A$ (Potencia láser = 3W). Fotodetector: Radiómetro absoluto RK 3100.

A fin de examinar con mayor resolución el perfil individual de cada elemento emisor del *stack*, se afinó la medición achicando el rango de observación (Fig.2).

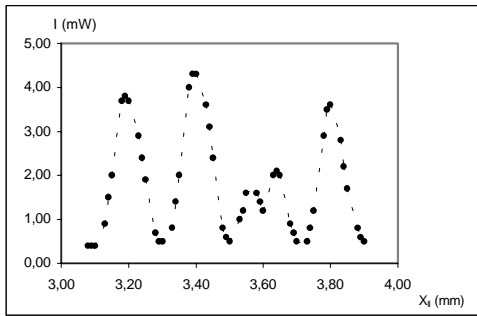


Figura 2: Perfil de emisión ampliado. Se repiten las condiciones de medición de Fig.1.

Se calcula una separación media entre emisores de $201\mu\text{m} \pm 22\mu\text{m}$, lo cual coincide con los datos de fábrica, y se observaron 46 máximos a lo largo de todo el recorrido, confirmando la totalidad de emisores presentes. La notable discrepancia en las intensidades registradas para los distintos componentes del arreglo (Fig.1) está de acuerdo con referencias citadas en trabajos anteriores ⁽¹⁾. Si se ajusta la curva de emisión para un único componente del *stack* por una curva gaussiana, se obtiene un ancho de $2\omega_{\parallel}=11\mu\text{m}$ en la dirección de la juntura y $2\omega_{\perp}=14\mu\text{m}$ en dirección perpendicular.

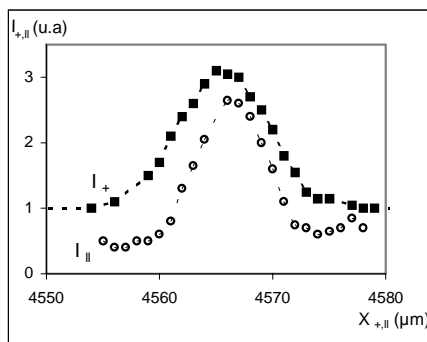


Figura 3: Perfil espacial para un emisor del *stack*, medido sobre el eje rápido (I_{\perp}) y sobre el eje lento (I_{\parallel}). Separación *stack*-fibras: 0,15mm.

III. CONECTOR DE FIBRA OPTICA

De las diferentes alternativas que surgen al intentar resolver un sistema de acoplamiento para la batería de diodos láser ⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾, el empleo de fibra óptica ofrece una solución flexible a un costo accesible.

La propuesta consiste en armar un manojo de fibras que, en un extremo, copie la geometría lineal de la juntura y en el otro presente una disposición circular para las fibras, facilitando un posterior enfoque de la radiación saliente sobre el medio activo que se quiere excitar (Fig.4).

Existen sin embargo importantes limitaciones ópticas a la hora de modificar los parámetros de propagación del frente de onda original. El teorema de irradiancia impone limitaciones expresadas a través la invariante lagrangiana $L = a \cdot \text{sen}(\theta/2)$ donde a representa el diámetro del haz y θ su divergencia. De este modo, una reducción en la dimensión transversal del haz ocurre a expensas del

incremento en la divergencia, y viceversa. A partir de los valores conocidos para la divergencia, el ancho y la altura de la juntura láser, se estima el mínimo tamaño teórico que podría alcanzar el haz: $D_{\parallel}=15\mu\text{m}$ y $D_{\perp}=0,006\mu\text{m}$. La comparación entre ambos valores da cuenta de una dificultad mucho mayor para enfocar la radiación sobre el eje lento que sobre el eje rápido.

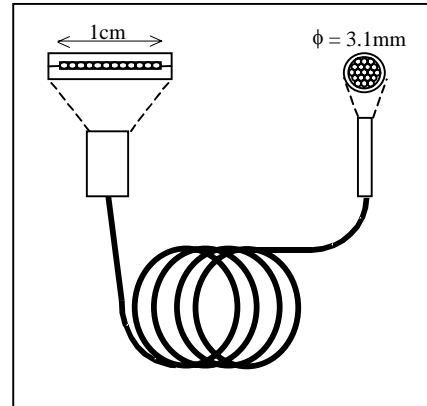


Figura 4: Dispositivo de acoplamiento por fibra óptica. Largo del cable: 1,5m. Fibra multimodo TECS39 UTM-600. Diámetro núcleo/cladding: $600\mu\text{m}/630\mu\text{m}$. AN=0,39.

Se armó un manojo de fibras que consta de 16 tramos de igual longitud cuyos extremos se fijan en sendos conectores metálicos.

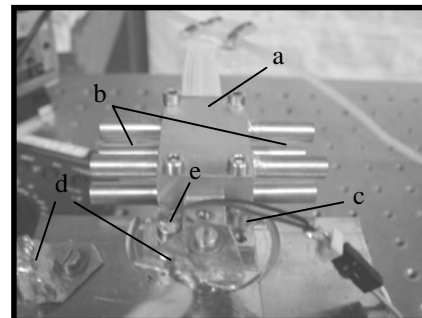


Figura 5: Sistema de acoplamiento por fibra. a: conector de entrada del manojo de fibras. b: conectores para refrigeración por agua. c: batería de diodos ASM8080-20W2. d: alimentación eléctrica. e: montaje diodos láser. e: termistor, control de temperatura.

El conector de entrada enfrenta al *stack* de diodos y permite acomodar en forma compacta y lineal todas las fibras hasta completar $\sim 1\text{cm}$ de ancho (ancho de la juntura). En el conector de salida las fibras se ordenan prolijamente para conformar una suerte de roseta circular de $\sim 3,1\text{mm}$ de diámetro.

IV. MODELO TEORICO

Paralelamente, se desarrolló una simulación numérica simple para aproximar la etapa de acoplamiento. El modelo permite describir cualitativamente las características que se esperan observar sobre el perfil espacial del haz transmitido, así como también evaluar los requerimientos a cumplir por la fibra óptica seleccionada a fin de optimizar la eficiencia de captación de la potencia emitida.

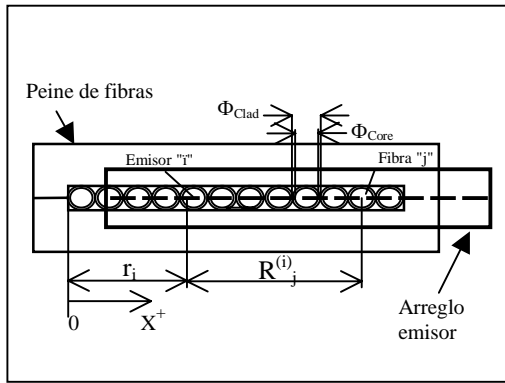


Figura 6: Ubicación del dispositivo de acoplamiento respecto del arreglo emisor láser.

Se consideró un perfil de emisión radial gaussiano de ancho ω para el campo eléctrico, centrado en cada uno de los elementos que componen el *stack*. Se asume que la sección de cada fibra frente a la juntura se comporta como un diafragma circular, recortando la entrada de luz.

$$\eta_i = I_0 \cdot \sum_{j=0}^M \iint_{FO} e^{-\frac{2}{\omega^2} (r_i - R_j^{(i)})^2} \cdot d^2 s_i \quad (1)$$

En la ec (1) η_i representa la potencia óptica que colecta la fibra *i*-ésima, en función del desplazamiento lateral respecto al *stack*

Otras hipótesis del modelo consisten en incluir la presencia de un *cladding* "opaco" (confina el haz pero no transmite por sí mismo luz), descartar las pérdidas por absorción en el material y por reflexión en las interfaces de entrada/salida.

Relevamiento del perfil espacial del diodo láser

Una vez implementado el algoritmo numérico se reprodujo el perfil de emisión del *stack*, repitiendo las condiciones de trabajo experimentales previas (Fig.1). Y se ensayaron diferentes diámetros de fibra.

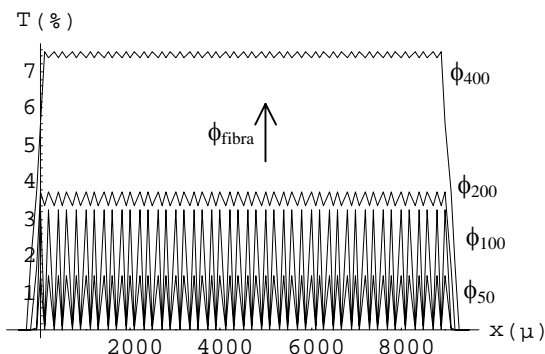


Figura 7: Perfil espacial de emisión simulado para el *stack* de diodos. X: desplazamiento lateral medido desde el borde de la juntura. Φ_{fibra} : 50 μ , 100 μ , 200 μ y 400 μ . T: porcentaje de luz transmitida.

El empleo de una sonda de menor sección aumenta la resolución espacial (se incrementa la relación de contraste entre amplitud de picos y el valor medio) a la vez que disminuye la cantidad de luz transmitida (se achica el tamaño de la ventana de colección). Con un diámetro de

fibra pequeño, $\Phi_{fibra} \sim \Phi_{haz \text{ gaussiano}}$, la potencia calculada en los valles entre centros emisores cae prácticamente a cero.

Posicionamiento del dispositivo de acoplamiento

Se estudió luego la eficiencia global que se obtiene, una vez armado el manajo completo de fibras, al recorrer el frente emisor hasta ubicar una posición óptima.

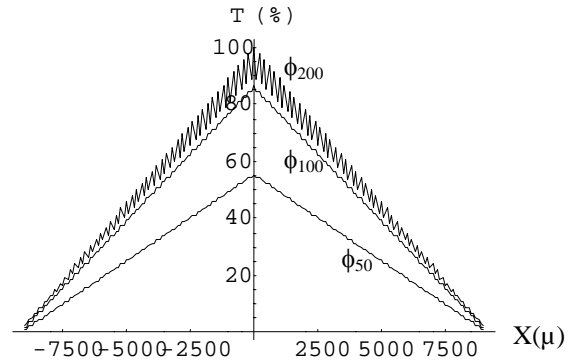


Figura 8: Eficiencia de captación para el manajo de fibras en función del centrado lateral. Φ_{fibra} : 50 μ , 100 μ y 200 μ

La transmitancia alcanza un valor teórico máximo, muy próximo al 100%, cuando el manajo se halla perfectamente centrado en ambos ejes sobre el plano de la juntura (Fig.8, $\Phi=200\mu$). Fuera de la posición central T% disminuye a razón de un 10% cada 0.85mm (Fig.8, $\Phi=100\mu$). En el caso de la fibra de 200 μ se observa una oscilación periódica a menor escala que describe el grado de coincidencia entre el peine de emisores y el peine de fibras en una dada posición. La amplitud de dicha modulación es del orden de un 10%.

Las diferentes alturas que presentan las curvas correspondientes a los distintos diámetros de fibra se atribuyen al cambio en el tamaño de la ventana de aceptación que ofrece cada fibra, y por tanto el manajo entero, en relación a la sección del haz gaussiano proveniente de cada emisor (ver también Fig.9).

Elección de la fibra óptica

Una vez que se verificó la importancia del centrado del manajo, se fijó su posición en el máximo de transmisión para estudiar la variación de T solamente en función del diámetro de la fibra seleccionada (Fig.9).

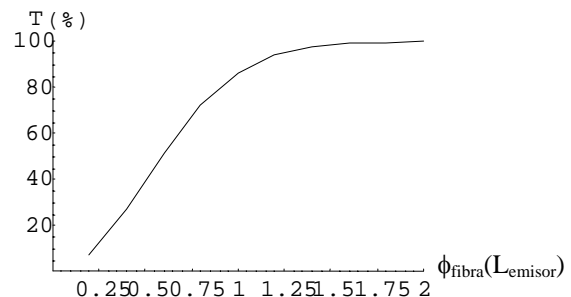


Figura 9: Transmitancia del manajo en función del diámetro de fibra. $L_{emisor}=80\mu$.

La eficiencia total de captación del dispositivo aumenta cuando se incrementa la sección del núcleo de fibra. La

transmitancia esperada supera el 85% cuando se emplea fibra de $\Phi_{\text{núcleo}} > 100\mu\text{m}$.

A pesar que el modelo no considera transporte de energía a través del *cladding*, su espesor junto con el diámetro del núcleo determinan la separación entre fibras contiguas, condicionando el ajuste entre la ubicación del arreglo de fibras con respecto al peine emisor.

Por otro lado la apertura numérica (AN) de la fibra establece un cono de aceptación dentro del cual la radiación queda confinada. A fin de minimizar pérdidas ópticas es preciso seleccionar una fibra cuya AN sea mayor que la correspondiente apertura de la fuente, considerando los diferentes valores que toma en cada eje de propagación. Ya que la AN de la fibra disponible era de 0.39 ($\phi_{\text{cono}} = 48^\circ$) y la divergencia propia del diodo es de $40^\circ \times 10^\circ$ (eje rápido-eje lento), dicha condición se satisface holgadamente y por eso no se tuvo en cuenta para la formulación del modelo.

Empaquetamiento de las fibras

Es posible estimar el diámetro ϕ que resulta para el conjunto completo de fibras dispuestas en círculo en el conector de salida del manojo. Suponiendo un arreglo bidimensional no necesariamente compacto (como sería una red hcp en 2 dimensiones) se tiene que :

$$\phi = (1+\delta) \cdot \phi_i \cdot \sqrt{N} \quad (2)$$

$$N = L_j / \phi_i$$

Donde ϕ_i es el diámetro de cada fibra, δ el espacio intersticial desaprovechado (supuesto pequeño) entre fibras, L_j el ancho de la juntura láser y N la catidad total de fibras alineadas. De este modo resulta $\phi \propto \sqrt{\phi_i}$ y, según este criterio, para conseguir una sección final pequeña será conveniente emplear fibra lo más fina posible. Para $\phi_i=630\mu\text{m}$ como la utilizada medimos $\phi_{\text{exp}} \sim 3,1\text{mm}$ (se calcula $\phi_{\text{teo}} \sim 2,5\text{mm}$).

V. RESULTADOS FINALES

La terminación del mecanismo de acoplamiento se completó con un pulido fino sobre el frente de ambas caras del manojo.

El *stack* se aproximó lo más cerca posible al dispositivo y luego se ajustó la altura (Fig. 10) y la posición lateral del conector.

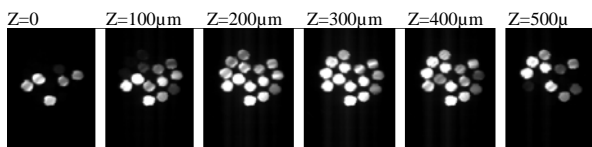


Figura 10: Corrección vertical de altura. $Z=300\mu\text{m}$ corresponde a la ubicación óptima (máximo brillo).

Las zonas oscuras sin rellenar en los fotogramas corresponden a fibras dañadas durante el montaje.

Para medir la eficiencia global del sistema de acoplamiento se determinó la recta de potencia del láser con y sin el dispositivo de fibras colocado (Fig 11).

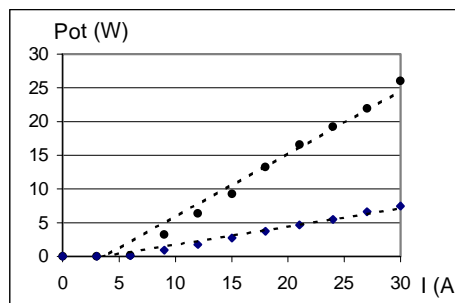


Figura 11: Recta de eficiencia del *stack* con y sin el manojo de fibras. Separación manojo-juntura: 0,15mm.

El factor de eficiencia que se obtiene es de un $\sim 28\%$, prácticamente el mismo para todos los niveles de potencia ensayados.

VI. CONCLUSION

Un sistema eficiente de acoplamiento por fibra requiere posicionar el mecanismo con una precisión de al menos 0,1mm y elegir cuidadosamente la fibra que se empleará, atendiendo fundamentalmente a su diámetro y apertura numérica.

Los resultados de la simulación sugieren que es más importante contar con una ventana de captación grande (dado por el diámetro del núcleo de la fibra) para la radiación que tener una perfecta alineación de cada emisor con cada fibra.

La eficiencia del 28% que se consiguió representa casi la tercera parte del valor que se obtiene en dispositivos comerciales similares⁽²⁾, por lo cual suponemos que existen factores de pérdida que no han sido debidamente considerados (por ejemplo, tratamiento antirreflex en 808nm para las interfaces de entrada/salida del dispositivo).

REFERENCIAS

- [1] – L.Zeni, S.Campopiano, A.Cutolo, G. D'angelo, Optics And Lasers in Engineering 39 (2003).
- [2] – P.Y.Wang, Laser Focus World (Dic.2001).
- [3] – B.V.Hukter, Selecting a High Fiber-Optic Laser Beam Delivery System, Laser Institute of america Proceedings (1996).
- [4] - G.Feugnet et al, Optics Letters 20 (En. 1995).
- [5] - W.Clarkson, D.Hanna, Optics Letters 21 (Mar. 1996).