

# LAMINA DE Nd:Vidrio IRRADIADA TRANSVERSALMENTE POR BATERIA DE DIODOS LASER

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

Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP)  
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas para la defensa (CITEFA) – CONICET  
Juan Bautista de La Salle 4397 (B1603ALO) Villa Martelli, Pcia. de Buenos Aires  
e-mail: dkrygier@citefa.gov.ar, pdiodati@citefa.gov.ar

En un reporte previo presentamos los primeros resultados obtenidos luego de construir una cavidad de bombeo compuesta por una lámina de Nd:Vidrio, funcionando como medio activo, acoplada a un sistema de excitación por diodos láser. En esta ocasión completamos el estudio incluyendo el registro de la distribución de fluorescencia, los perfiles de temperatura y las curvas de absorción de la radiación del bombeo dentro del material. También estudiamos las dimensiones para la lámina de Nd:Vidrio y los detalles constructivos para la cavidad reflectora que resultan más convenientes a fin de soportar las elevadas potencias de bombeo involucradas.

In a previous report we presented preliminary results concerning the building of a laser pump cavity, complying a Nd:Glass slab acting as an active medium close coupled to a laser diode array. This time we present an extension of this study performing new tests that include, capture of the fluorescence distribution, temperature profile and absorption curves of the pump radiation into the active medium. Optimized dimensions for the Nd:Glass slab and constructive details for the reflective cavity were also investigated in order to support the high power pump levels involved.

## I. ANTECEDENTES

La generación de pulsos ultracortos a partir de láseres de estado sólido constituye una herramienta de gran versatilidad, que encuentra aplicación en diferentes campos de la ciencia experimental. El estudio de fenómenos no lineales, la observación de procesos ultrarrápidos, las telecomunicaciones y las aplicaciones biológicas, constituyen sólo algunas de las áreas de investigación donde dicho recurso ha resultado de probada eficacia.

En el caso de la Ciencia de los Materiales, uno de los usos más difundidos es para el micro-maquinado de piezas. Las dimensiones microscópicas en las que se puede enfocar el haz láser, junto con la muy corta duración de la emisión (del orden de los fs), permiten trabajar con gran precisión sobre áreas de dimensiones muy pequeñas causando un daño mínimo al material circundante. Debido a la corta duración del pulso, el calor generado en la muestra no alcanza a difundir a la periferia, actuando en forma muy localizada sobre la superficie donde incide el haz y produciendo, generalmente un acabado superficial óptimo.

A fin de conseguir un dispositivo capaz de generar pulsos ultracortos para este tipo de aplicaciones, comenzamos la construcción de un equipo láser de estado completamente sólido basado en un mecanismo de excitación por medio de una batería (array) de diodos láser, que actúa sobre un medio activo (slab) de Nd:Vidrio.

Una de las ventajas que ofrece la elección del vidrio como medio de soporte, es que presenta un mayor ancho de banda en comparación con otros materiales alternativos. Aprovechando esta cualidad se intentará implementar posteriormente, la técnica de generación de pulsos ultracortos (*Mode Locking*) en la cavidad de oscilación láser, a fin de obtener pulsos con duraciones de pocos fs,

menores que las habituales <sup>(1)</sup>.

Sin embargo, también debe tenerse en cuenta que el vidrio presenta una baja conductividad térmica en comparación con otros materiales que se emplean como medio activo. Por esta razón la disipación de calor puede llegar a ser ineficiente al trabajar con altas potencias de bombeo.

## II. CAVIDAD DE BOMBEO

En esta primera etapa del proyecto el objetivo propuesto fue ensayar condiciones de diseño para la cavidad de bombeo que permitan aprovechar eficientemente toda la potencia disponible al irradiar el medio activo, preservando su integridad y desempeño. O bien del mismo modo, se intenta determinar cual es el máximo valor de potencia que tolera el *slab* sin sufrir un daño apreciable que afecte su normal funcionamiento <sup>(2),(3)</sup>.

Se comienza entonces por construir una cavidad de bombeo con un esquema de excitación transversal, conformada por una batería de diodos que se acopla directamente al medio activo (*direct coupled pump*, DCP).

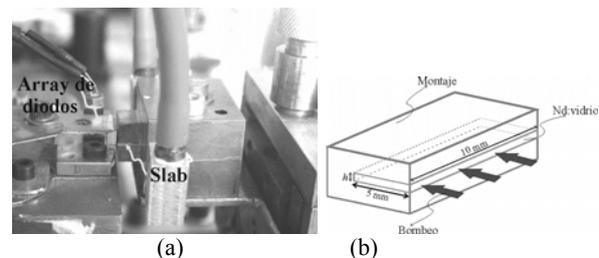


Figura 1: (a) Montaje de la batería de diodos láser de 20 W enfrentando al medio activo. (b) Bombeo transversal sobre la lámina de Nd:Vidrio (LG-680).

El array de diodos (modelo ASM808, Fig.1(a)) consiste de un arreglo lineal de 46 emisores equiespaciados, que

conforman una juntura emisora en forma de ranura de 10 mm de ancho y 1 μm de alto. La emisión del láser corresponde a una longitud de onda centrada en 808 nm, con un ancho de línea de 2 nm.

El haz presenta fuerte divergencia en los dos planos de propagación (emisión astigmática), típicamente de 40° x 10° en los ejes rápido y lento (dirección perpendicular y paralela a la juntura respectivamente).

La alimentación eléctrica es provista por una fuente regulada de corriente de 30 A, que mantiene una caída de tensión de 2 V sobre la juntura semiconductor. La potencia óptica, proporcional a la corriente aplicada, alcanza un valor máximo de 20 W. Mientras que la corriente umbral para la emisión del láser es de 10 A.

El medio activo consiste en una lámina de vidrio silicatado (LG-680 de Schott) de geometría rectangular denominada *slab*, dopada con iones de Nd<sup>3+</sup> en una concentración de 3,5%. Existen trabajos previos que señalan la conveniencia de este valor de dopaje a fin de optimizar la eficiencia de conversión de la radiación láser<sup>(4)</sup>.

Se ensayan *slabs* de diferentes espesores que se obtienen de un bloque de mayor tamaño. Estas láminas son llevadas a medida, esmeriladas y pulidas hasta las dimensiones finales aproximadas de 10mm en ancho, 5mm de profundidad en espesores (h) de 1, 2, 4 y 8 mm (Fig.1(b)). Más tarde se agrega un nuevo corte de una lámina de 1mm de espesor, sobre el cual se practica un meticuloso pulido de todas las aristas a fin de suavizar los bordes filosos.

El *slab* se introduce en un alojamiento metálico de cobre al cual se ha efectuado un recubrimiento electrolítico de oro, cuya función consiste en mejorar la disipación térmica, proteger la superficie y optimizar la reflectividad de las caras internas. Luego se fija la lámina empleando un pegamento siliconado (Sylgard 186) y se monta el conjunto armado sobre un posicionador de precisión micrométrica. Tanto el montaje del *array* como el del *slab* se refrigeran a través de un circuito de agua a temperatura ambiente.

### III. DISPOSITIVO DE MEDICIÓN

Una vez ubicados sendos montajes sobre la mesa de trabajo, se intenta acortar lo mejor posible la separación

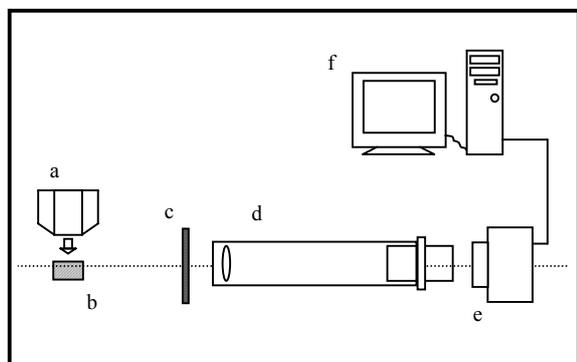


Figura 2: Arreglo experimental. a: Batería de Diodos, b: Lámina de medio Activo, c: Filtro interferencial para 1,06 μm, d: Microscopio de Bajos Aumentos  $M = 12X$ , e: Cámara Digital VGACAM, f: Sistema de Adquisición de Imágenes.

entre la juntura emisora y la cara anterior del *slab*, a fin de optimizar el aprovechamiento del bombeo, lográndose una separación mínima de 0,3 mm (Fig.3).

Para estudiar y registrar el proceso de excitación dentro del medio activo, se emplea una lupa de bajos aumentos (12X) que apunta hacia la región de interés desde una ubicación lateral. Sobre el ocular de la misma se fija una cámara digitalizadora (Resolución 192x165 pixels) a fin de capturar a través de una interfase a la PC, una imagen del perfil de la radiación inducida dentro del *slab* (ya que una fracción de la potencia entregada por el bombeo se convierte en emisión fluorescente de 1,06 μm).

La lupa se ubica a una distancia tal que el plano de enfoque se encuentra a medio camino entre las caras laterales del *slab*, y se estima una profundidad de campo de 2 mm.

Mediante la interposición de un filtro interferencial frente al objetivo de la cámara (Fig.2(c)), se consigue eliminar buena parte de la luz espuria y se detecta exclusivamente la radiación de fluorescencia. De este modo, además de conseguir una notable mejora en la calidad de imagen, las mediciones se centra en la longitud de onda de interés ( $\lambda_{\text{láser}}=1,06 \mu\text{m}$ ).

El propósito de este esquema de trabajo es el de observar la distribución espacial de la fluorescencia inducida en el medio en función del bombeo y para los diferentes espesores de lámina ensayados.

### IV. RESULTADOS

#### Procedimiento

Con la ayuda de la imagen obtenida en tiempo real por medio de la cámara, se ajusta con precisión la altura del *slab* y se fija y mide una separación mínima hasta la juntura de 0,3 mm (Fig.3).

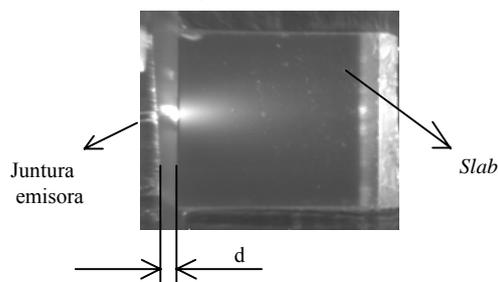


Figura 3: Perfil de la fluorescencia inducida dentro del medio activo. Dimensiones de la lámina: 10x5x4 mm<sup>3</sup>. Separación d-0,3mm

Con cada uno de los *slabs* disponibles, en espesores de 1, 2, 4 y 8 mm, se completan los ensayos que se detallan a continuación.

El procedimiento básico consiste en efectuar una serie de mediciones subiendo gradualmente la potencia de bombeo desde 0 hasta los 20 W en intervalos de a 2 W, registrando las imágenes del perfil de la fluorescencia en cada etapa. También se cuenta con sendos termómetros para monitorear la evolución de la temperatura del *array* y del *slab* durante el proceso de medición.

El brillo de la imagen aumenta considerablemente al incrementarse la potencia de bombeo, por lo tanto es imprescindible ajustar en cada paso la apertura del

diafragma. De esta manera también se evita saturar la escala de medición de intensidad (tonos de gris en 8 bits), que sirve luego para evaluar la luminosidad relativa en cada punto del cuadro (ver más adelante, Fig.5).

### Perfil de la Fluorescencia

A partir de los registros visuales obtenidos es posible establecer la distribución de fluorescencia en  $1,06 \mu\text{m}$  dentro de cada lámina de Nd:Vidrio para diferentes potencias aplicadas (Fig. 4).

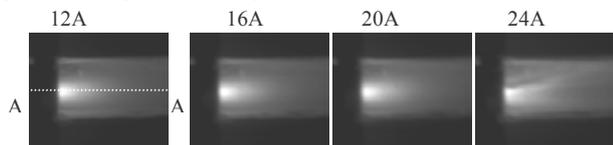


Figura 4: Secuencia de bombeo para la lámina de 2mm de espesor. Plano A-A: eje del bombeo. En el último cuadro ( $I=24A$ ) se advierte el inicio de una fisura dentro del material.

A partir de los perfiles de fluorescencia se levanta la curva de intensidad a lo largo del eje de propagación del bombeo, plano A-A (Fig.4), fijando el valor de la corriente en  $I = 14A$ . El ajuste de la curva se hace con una exponencial decreciente (Fig.5), cuyo coeficiente de atenuación permite establecer un valor aproximado para la profundidad que alcanza la radiación dentro del medio activo:

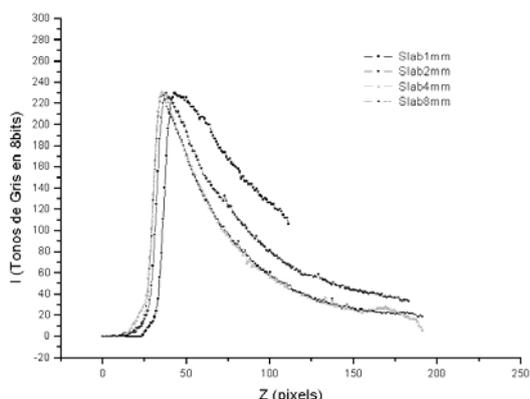


Figura 5: Absorción de la radiación de bombeo en el medio activo, ensayando láminas de diferente espesor.

Tabla I: Penetración del bombeo

	Slab 1mm	Slab 2mm	Slab 4mm	Slab 8mm	Slab *1mm
Coefficiente de decaimiento $1/e$ (mm)	4,0	1,2	0,9	1,0	0,8

\* Bordes de lámina redondeados.

En las imágenes correspondientes a diferentes niveles de bombeo para un mismo *slab* no se aprecian cambios en la forma del perfil. Tampoco se observan variaciones significativas al comparar las curvas de fluorescencia para diferentes espesores de lámina. En el caso particular del *slab* de 1mm, comparándolo con el resto de los *slabs* (ver Fig.5 y Tabla I), se advierte un aumento en la distancia de penetración del bombeo. Este incremento podría obedecer a la disminución en el espesor del medio activo, que actúa como una guía de onda conduciendo la radiación hasta una profundidad mayor.

### Umbral de daño

El exceso de calor generado dentro del *slab* durante la etapa de bombeo puede resultar altamente perjudicial. Al incrementar la potencia de trabajo observamos la aparición de fisuras sobre la superficie irradiada, lo cual conduce finalmente a la fractura de la lámina de vidrio.

De acuerdo con la literatura consultada <sup>(3),(4)</sup> este mecanismo de rotura involucra gradientes térmicos elevados que inducen tensiones mecánicas superiores a las que puede soportar el material.

Examinando en detalle las imágenes obtenidas con la cámara mientras se incrementa la potencia de bombeo, es posible estimar el umbral de daño (Fig.4,  $I=24A$ ) para cada lámina ensayada. Ya que al alcanzar dicho valor crítico se advierte una sutil distorsión en el brillo de la imagen que revela, cómo más tarde se comprueba por inspección (Fig.6), el inicio de una fisura superficial que se extiende dentro del material.

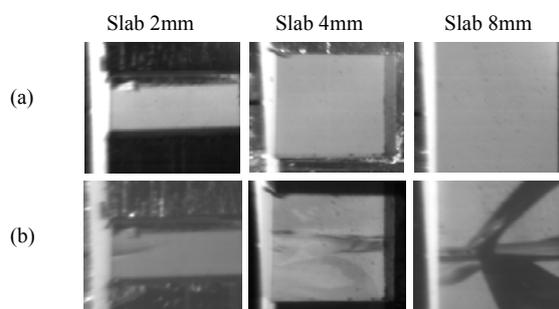


Figura 6: Fracturas producidas en el vidrio debido a un exceso de potencia. (a): Antes de ser irradiadas. (b): Después.

Tabla II: Umbral de daño para la lámina de Nd:Vidrio

	Slab 1mm	Slab 2mm	Slab 4mm	Slab 8mm	Slab* 1mm
Potencia crítica (W)	#	15,5	11,5	8,5	##

# No fue posible advertir durante la medición que ya se había iniciado una fisura en el material, hasta desarmar posteriormente el montaje.

## No se registran daños.

En la Tabla II se observa cómo la potencia umbral aumenta cuando se emplea un *slab* de menor espesor <sup>(2),(5)</sup>. No obstante, aún con la lámina más delgada ( $h = 1 \text{ mm}$ ), es imposible aplicar la máxima potencia de bombeo sin evitar eventuales daños. Por lo cual se decide introducir una mejora que consiste en repetir el mismo espesor de corte de 1mm, pero esta vez eliminando el filo de las aristas en la cara de la lámina que enfrenta al bombeo. Esta última modificación resulta acertada, ya que permite completar con éxito la serie de mediciones empleando todo el rango de potencia que entrega la fuente, preservando la integridad de la lámina.

### Simulación numérica del perfil de temperaturas

Durante la operación del dispositivo se verifica un incremento de la temperatura tanto en el *array* como en la lámina (Fig.7(a) y (b)). Es sabido que, en los diodos láser, dicho calentamiento desplaza la línea central del espectro de emisión, y también reduce sensiblemente la vida útil del diodo. Sin embargo en este caso el aumento de la temperatura registrado no resulta crítico mientras no se

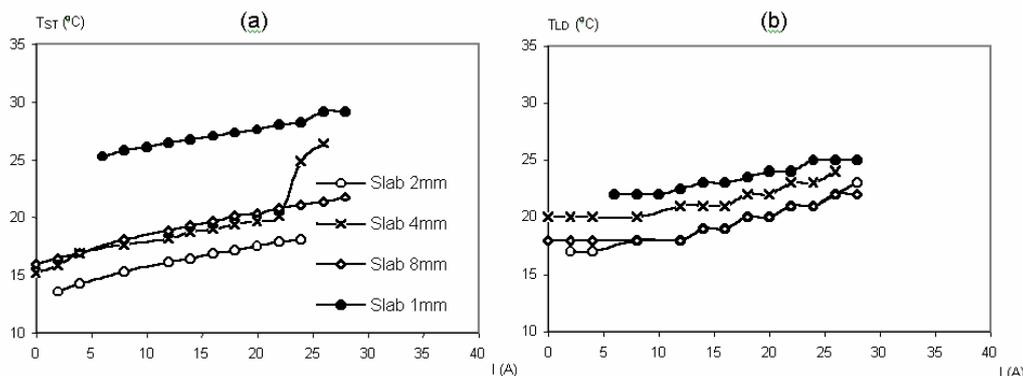


Figura 7: Evolución de la temperatura en (a) Array de Diodos, (b) Lámina de Nd:Vidrio

superen los 25°C, que es valor de trabajo usualmente recomendado.

La distribución de temperaturas en el medio está gobernada por la siguiente ecuación:

$$\nabla^2 T = -\frac{Q(x, y)}{K}$$

donde tanto la ecuación como las condiciones de contorno de x e y son independientes de z y del tiempo. A partir de los perfiles de fluorescencia y de la temperatura en el montaje de la lámina, es posible evaluar la temperatura y el gradiente térmico inducido dentro de la lámina.

La distribución de calor  $Q(x, y)$  en el material se aproxima a partir de los perfiles de fluorescencia  $I(x, y)$ :

$$Q(x, y) = \frac{P_{\text{bombeo}} \cdot I(x, y)}{\text{Vol}_{\text{slab}} \cdot C}$$

y el factor C sale de la condición:

$$\int_{\text{Vol}_{\text{slab}}} Q(x, y) dv = P_{\text{bombeo}}$$

Resolviendo numéricamente con el programa de cálculo MATLAB se obtienen los siguientes resultados:

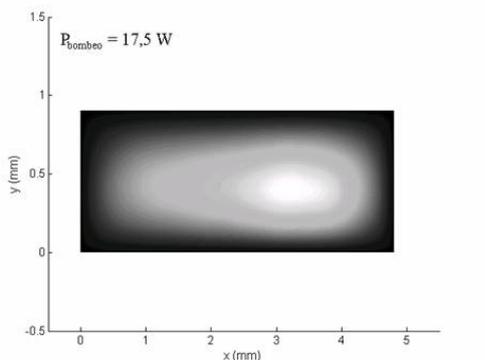


Figura 8: Distribución de la temperatura (°K) sobre el perfil del slab. Lámina de 1 mm de espesor

Se advierte (Fig.8) la presencia de una región que concentra mayor temperatura próximo a la cara por donde ingresa el bombeo, y los gradientes térmicos más fuertes (Fig.9) aparecen sobre las superficies superior e

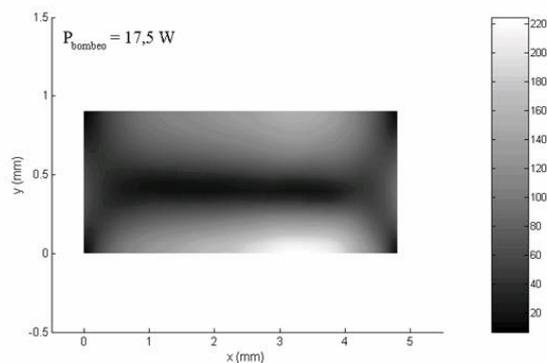


Figura 9: Lámina de 1 mm de espesor: gradiente de T (°K/mm)

inferior de la lámina.

## V. CONCLUSION

El resultado más relevante en esta etapa del desarrollo consiste en haber establecido dimensiones, detalles constructivos y de montaje compatibles con el empleo de una lámina de Nd:Vidrio, sin que esta se destruya, para ser usada como medio activo de un láser de Nd:Vidrio bombeado por un array de diodos de 20 W de emisión continua y con acople directo (DCP).

Los resultados sugieren que la resistencia de la lámina frente a los efectos de calentamiento depende de al menos dos parámetros: la elección de un espesor mínimo para el slab y, un cuidadoso pulido de sus aristas. Existen microfisuras presentes en el vidrio<sup>(3)</sup> que pueden causar la posterior fractura del mismo. Por lo tanto es sumamente importante conseguir un excelente acabado superficial en todas las caras del slab.

## Referencias

1. W.Koechner, Solid-State Laser Engineering, Springer-Verlag (1992).
2. L.E.Zapata, "Analisis of Nd<sup>3+</sup>:Glass Solar-Pumped High Power Laser Systems", NASA Technical paper 2905, 1989.
3. E.Mari, Los vidrios: propiedades, tecnologías de fabricación y aplicaciones, Buenos Aires: Américalce (1982).
4. "Thermal loads on optical glass", TIE-32 Technical Information SCHOTT, 2004.
5. G.Hulme, W.Jones, "Total internal reflection face pumped laser: concept and design consideration", Optical design problems in laser systems, Vol.69 of Proceedings of the society of Photo-optical instrumentation engineers, 1975, pag 38-4.