

NUEVO SISTEMA DE ENFOQUE EN LASERES SÓLIDOS

A. Luna¹, L. Acuña¹, M. Larotonda², M. Kovalsky³, A. Hnilo⁴

Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP), CITEFA-CONICET- UNSAM Zufriategui 4380 (B1603DAZ) Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina.

ahnilo@citefa.gov.ar

En este trabajo se describe el diseño, la construcción y la caracterización de un prototipo de laser de estado sólido bombeado longitudinalmente por un diodo laser de 2W de potencia de salida declarada en funcionamiento continuo y una lente de gradiente de índice de refracción (grin lens) como sistema de enfoque; el medio activo empleado fue Nd:YVO₄. La grin lens permite alcanzar diseños más compactos, versátiles y económicos. Se compara su desempeño con el diseño de enfoque convencional empleando colimadores y lentes cilíndricas.

This paper describes the design, construction and characterization of a solid state laser prototype, longitudinally pumped by a 2W cw diode laser and a grin lens as the focusing system. The active medium is Nd:YVO₄. The grin lens allows the achievement of compact, versatile and economic designs. Its performance is compared to the conventional system that uses a collimator and cylinder lenses.

I. INTRODUCCIÓN

Nuestro propósito en este trabajo es estudiar el desempeño de un nuevo sistema de enfoque que utiliza una lente de gradiente de índice de refracción en el montaje de un laser de neodimio en ortovanadato de Itrio (Nd: YVO₄) y compararlo con el diseño de enfoque convencional empleando colimadores y lentes cilíndricas.

El YVO₄ es el material receptor y aporta las características macroscópicas mecánicas, térmicas y ópticas al medio activo. Además es estable, duro y con buena conductividad térmica, lo que permite la operación del laser a alta potencia.

Los láseres de estado sólido tienen una gran ventaja respecto de los láseres líquidos o gaseosos; y es que el medio laser tiene una robustez intrínseca y una vida operativa prácticamente infinita. La durabilidad, la eficiencia y lo compacto de un sistema laser sólido mejora notablemente cuando se combina con fuentes de bombeo de diodos laser (DL), que tienen tiempos de vida útil de decenas de miles de horas. Estos sistemas presentan gran eficiencia y vida media, un diseño compacto y una reducción de la carga térmica sobre el material laser. La gran desventaja de los DL es la divergencia, que es de unos 10° en el plano de la juntura y de unos 40° en el plano perpendicular que contiene el eje de propagación.

1 Cátedra de Laboratorio 6 y 7. FCEyN, UBA.

2 Becario CONICET.

3 Becario UNSAM.

4 Inv. Independiente, CONICET.

Para coleccionar y usar efectivamente este haz de forma asimétrica, lo habitual es usar sistemas de lentes cilíndricas o prismas anamórficos. En este trabajo presentamos los resultados de emplear un sistema de enfoque basado en el uso de una lente de índice gradiente (grin lens: GL). Estas lentes permiten colimar y enfocar el haz de los diodos laser. Además, permiten la corrección de aberraciones sin usar sistemas complejos. Se utilizan en comunicaciones para acoplar señales a fibras ópticas. Como su uso es específico, vienen con un recubrimiento anti-reflectante para la longitud de onda de trabajo. Compararemos su desempeño con el diseño de enfoque convencional empleando colimadores y lentes cilíndricas.

II. TEORÍA

Lentes de gradiente de índice de refracción

En lentes convencionales, la formación de imágenes es el resultado de refracciones discretas en los límites de medios homogéneos con índices de refracción diferentes. Usando materiales en los cuales el índice varía en forma controlada es posible formar imágenes por refracción continua. Las ventajas más notables de combinar refracción continua con refracción de superficie son: corrección de aberraciones sin sistemas complejos multi-elemento; simplificación de la geometría de las lentes y la formación de imágenes reales sobre la superficie de la lente.

Una lente de gradiente de índice tiene como principal característica que su índice de refracción varía a medida que nos alejamos del eje óptico según la siguiente ecuación¹

$$n_r = n_{00} \left(1 - \frac{Ar^2}{2} \right) \quad (1)$$

donde n_r es el índice de refracción a distancia r desde el eje óptico, n_{00} es el índice de refracción sobre el eje óptico, r es la distancia radial al eje óptico y A es una constante positiva, que caracteriza a la GL, y que representa la tasa de variación del índice de refracción a medida que nos alejamos del eje óptico.

III. DISEÑO EXPERIMENTAL Y PROCEDIMIENTO

Caracterizamos una GL de 3.27mm de longitud por 1.80 mm de diámetro. Ubicamos la GL virtualmente a distancia cero de la ventana del diodo laser. Nos interesa saber si existe alguna región en la cual el alto y el ancho del haz miden lo mismo. Este punto es de particular interés, dado que la distribución de la energía de bombeo que se da en este lugar propicia la generación de un modo simétrico (deseable) del laser. Para ello medimos el tamaño del haz, tanto en la dirección vertical como en la horizontal, en una región que iba desde los 3,94mm hasta los 9,26mm desde la ventana del diodo. Conocido el lugar en donde la distribución de energía es simétrica (4,4mm desde la ventana del DL), procedimos a diseñar y a construir un soporte para la GL y el medio activo.

Cavidad lineal

Físicamente, el medio activo es un cristal cuadrado de 3mm de lado y 1mm de espesor. La concentración de Nd es de 1.1%. Este cristal tiene sobre una de las caras una capa antireflectante para la longitud de onda de bombeo (810nm) y de alta reflectividad para la de oscilación (1064nm). Sobre la otra cara tiene un tratamiento antireflectante en 1064nm.

En primer lugar, rotamos el cristal de manera de optimizar la absorción del bombeo. Luego cerramos la cavidad con un espejo plano a 10cm del cristal. Ensayamos varias reflectividades de salida, obteniendo para una de 94% la mejor eficiencia (21%), con una potencia máxima de salida de 290mW con un bombeo neto de 1.4 W.

IV. ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

Nuevo sistema de enfoque

Un sistema de enfoque convencional emplea una lente colimadora ($f=8$ mm) y dos lentes cilíndricas ($f=19$ mm) dispuestas perpendicularmente entre sí.

Con este sistema obtuvimos un diámetro de la cintura del haz de bombeo de aproximadamente 127 μ m a 6,9 cm de la ventana del diodo laser. Por otro lado, con la GL obtuvimos un tamaño de haz en la dirección vertical (a 4,46mm de la ventana) de 230 μ m, mientras que en la dirección horizontal la cintura fue de 20 μ m y se ubicó un poco más lejos (9,26mm). Logramos una distribución simétrica de alrededor de 270 μ m de lado a 4,4mm de la ventana del diodo. Nótese que la distancia óptima entre el medio activo y el DL se redujo en un factor 15. Por otro lado, la GL capta el 70% de la potencia emitida por el DL, contra el 80% captado con el sistema de enfoque de lentes cilíndricas. Así, el uso de la GL no introduce pérdidas adicionales importantes.

Cavidad en V

Esta cavidad es la más simple que conviene usar para la generación de segunda armónica (SHG) dentro de la cavidad. Recurriendo al formalismo de matrices de rayos², la matriz de la cavidad es:

$$\begin{pmatrix} 1 - 2\frac{l_2}{R} & l_1 + l_2 - \frac{2l_1 l_2}{R} \\ -\frac{2}{R} & 1 - \frac{2l_1}{R} \end{pmatrix} \quad (2)$$

siendo l_1 la longitud del primer brazo de la cavidad, l_2 la del segundo y R el radio de curvatura del espejo de salida.

El esquema del dispositivo experimental se observa en la Fig. 1. El espejo dicróico de salida, M1, posee un recubrimiento de alta reflectividad para la longitud de onda fundamental y uno de alta transmisión para la segunda armónica. El ángulo entre los dos brazos de la cavidad es pequeño ($\alpha \approx 10^\circ$), por lo que el astigmatismo es despreciable.

Se insertó un cristal KTP de 3x3x5 mm preparado para phase matching tipo II, con un recubrimiento anti-reflectante en 1064/532 nm. La posición del KTP que optimiza la SHG está entre los 8,4mm y 10,6mm respecto del espejo M2. Esto se debe principalmente a la dispersión variable que tiene el aire respecto de la longitud de onda, por lo que se introduce entre el primero y segundo pasaje un cambio en la fase relativa entre la fundamental y la segunda armónica³. Dado que el largo de Rayleigh para el diámetro del haz sobre M2 es 36mm, el tamaño del haz es prácticamente constante en las distancias con las que trabajamos entre el KTP y M2.

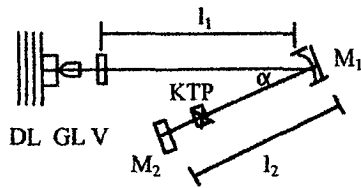


Figura 1: Esquema del dispositivo. DL: diodo láser. GL: lente de índice gradiente. V: cristal de vanadato. M1: espejo HR@1064nm, HT@532nm, R= 200mm. M2: espejo HR@ 1064nm y 532nm, plano. $l_1 = 220\text{mm}$. $l_2 = 114\text{mm}$. $\alpha = 10^\circ$.

Doblado intracavidad

La curva de eficiencia para la generación de segunda armónica se observa en la Fig. 2. Se logró una potencia de salida de 13mW con un bombeo de 1,5W; la potencia umbral en esas condiciones fue de 291mW y la eficiencia fue de 0,9%.

Manteniendo fija la distancia óptima entre el KTP y el espejo de fondo, incursionamos variaciones de las longitudes del segundo brazo (l_2) de la cavidad en V. Acortamos l_2 hasta 10,15cm, observando que se mejora el modo, pero disminuye la potencia de salida (P_{2w}).

Al alejarnos hasta 15cm, se produce una mejora en la P_{2w} pero perdemos el TEM₀₀. Esto se debe a un ajuste deficiente entre la zona bombeada y el modo dentro de la cavidad.

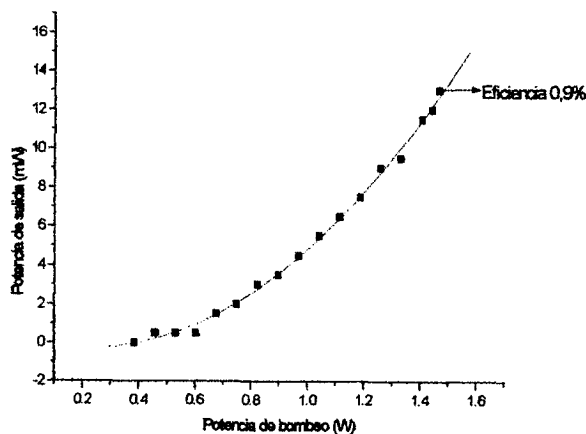


Figura 2: Curva de eficiencia para la generación de segunda armónica. Logramos una potencia de salida de 13mW con un bombeo de 1,5W.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo diseñamos y construimos un prototipo de láser de estado sólido con un nuevo sistema de enfoque: lente de gradiente de índice de refracción. La forma espacial de la fuente de bombeo, que se caracteriza por una alta divergencia angular, fue controlada para conseguir una cintura de bombeo cuadrada cuya dimensión fue de aproximadamente 270 μm de lado.

En cuanto a la proporción de luz captada por la GL, sólo se reduce en un 10% con respecto al sistema de enfoque con lentes cilíndricas.

Podemos concluir que este nuevo sistema de enfoque, grin lens, tiene un desempeño muy similar al de los sistemas convencionales con la ventaja de la reducción del número de lentes para colimar y enfocar el haz. La simplificación en la alineación, lo compacto de todo el sistema y, por último, la reducción del costo del sistema de enfoque en casi un orden de magnitud, justifica ampliamente la adopción de este sistema en el montaje de láseres de estado sólido.

REFERENCIAS

- ¹ *The Practical Application of Light*, catálogo Melles Griot 1999, cap. 15.
- ² A. Yariv, "Quantum Electronics", John Wiley & Sons, New York, 1989.
- ³ J. M. Yarborough, J. Falk y C. B. Hitz, "Enhancement of optical second harmonic generation by utilizing the dispersion of air", Appl. Phys. Lett. 18, 70-73 (1971).

AGRADECIMIENTOS

Al Dr.F.P.Diodati por sus consejos, y al Sr. J.J. Luque, por su ayuda en la construcción de piezas mecánicas.

Este trabajo fue realizado dentro del marco de los proyectos CONICET PIP 428/98, PIP 639/98 y PICT 03-06303 de la ANPCyT.