

# GENERACION DE SEGUNDA ARMONICA EN UN LASER Nd:YAG BOMBEADO POR DIODOS

J. Codnia, M. L. Azcárate

CENTRO DE INVESTIGACION EN LASERES Y APLICACIONES CEILAP (CITEFA-CONICET)  
ZUFRIATEGUI 4380 - (1603) - VILLA MARTELLI - BUENOS AIRES - ARGENTINA  
e-mail : lazcarate@citefa.gov.ar jcodnia@citefa.gov.ar

Los láseres sólidos bombeados por diodos se han desarrollado notablemente en estos últimos años. El avance de la tecnología en lo que se refiere a la construcción de cristales láser y a diodos para su bombeo permite diseños cada vez más compactos, versátiles y económicos. En los últimos 2 años hemos desarrollado, en conjunto con un grupo de la UBA y otro del CEILAP, distintos tipos de láseres sólidos bombeados por diodos. En este trabajo se presentan los resultados concernientes al doblado intracavidad de un láser Nd:YAG operando tanto en modo continuo (CW) como en el modo pulsado (Q-Switch activo). Se muestran también modificaciones en la óptica de bombeo respecto del esquema del primer prototipo desarrollado.

The diode pumped all solid state lasers have been extensively developed in the last years. The technological improvement of diode lasers and laser crystals has allowed the development of very compact, versatile and economic designs. In the last two years, we have developed in collaboration with two other groups, one from the UBA and the other from CEILAP, different types of diode pumped all solid state lasers. In this work we report the results of intracavity doubling of a Nd:YAG laser with both CW and active Q-Switch operation. Modifications in the pumping optics respect the first prototype design are shown too.

## I-INTRODUCCION

En la última década los láseres sólidos bombeados por diodos han proliferado notablemente debido al enorme desarrollo tanto de los diodos para su bombeo como de los distintos materiales utilizados como medio activo. El aumento en la potencia de salida, la calidad del modo, la estabilidad y ancho de pulso permite que hoy día se los utilice en aplicaciones donde históricamente se usaban láseres líquidos o gaseosos.

En la Reunión Anual de la Asociación Física Argentina de 1998, se presentó la construcción de dos láseres sólidos continuos Nd:YAG y Nd:YVO<sub>4</sub> bombeados con un diodo láser. En el caso del Nd:YAG y con la introducción de un modulador acusto-óptico (AOM) en la cavidad se obtuvieron pulsos de Q-Switch de más de 3 KW de potencia de pico, 50  $\mu$ J de energía y 15 ns de duración.

En este trabajo se presentan dos esquemas de doblado intracavidad pulsado:

- 1- Cavidad en V con un cristal láser Nd:YAG.
- 2- Cavidad plano cóncava con un cristal Nd:YVO<sub>4</sub>.

## II- PARTE EXPERIMENTAL

Como medio activo se utilizaron dos cristales: en primer lugar el Nd:YAG 0,85-at. % Nd<sup>3+</sup> cilíndrico de 3 mm de diámetro y 5 mm de longitud. En segundo lugar el Nd:YVO<sub>4</sub> 1,1-at. % Nd<sup>3+</sup> cuadrado de 3 mm de lado y 1 mm de espesor. Las caras de estos cristales tienen un tratamiento de forma tal de obtener las siguientes características:

- Alta transmisión en 808 nm y alta reflectividad en 1,06  $\mu$ m y 532 nm en la cara del bombeo.
- Alta reflectividad en 532 nm y baja reflectividad en 1,06  $\mu$ m en la otra cara.

En ambos casos como dispositivo doblador se utilizó un cristal KTP (3x3x4 mm<sup>3</sup>), CASIX, con recubrimiento

antireflex en ambas caras tanto en 1,06  $\mu$ m como en 532 nm.

Una descripción detallada del sistema de bombeo se puede encontrar en la referencia 1. Brevemente, como elemento de bombeo se utilizó un diodo láser SDL 2372, continuo, de 2 W de potencia nominal y una longitud de onda de emisión de 808 nm. Una fuente desarrollada en el laboratorio permitió controlar tanto la corriente, y por lo tanto la potencia de emisión del diodo como estabilizar su temperatura a un valor prefijado. El bombeo se realizó longitudinalmente y la óptica de enfoque sobre el cristal láser consistió de una lente colimadora y dos lentes cilíndricas dispuestas ortogonalmente. La cintura del bombeo en el cristal era elíptica de 70  $\mu$ m y 74  $\mu$ m.

La Figura 1 muestra un esquema del láser con la cavidad en forma de V y la Figura 2 con la cavidad plano cóncava.

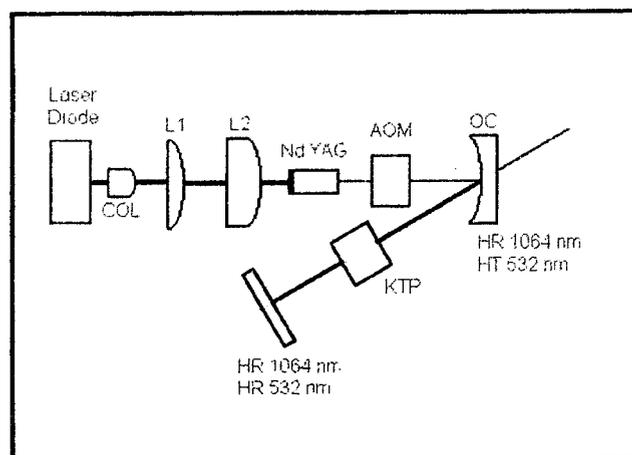


Figura 1

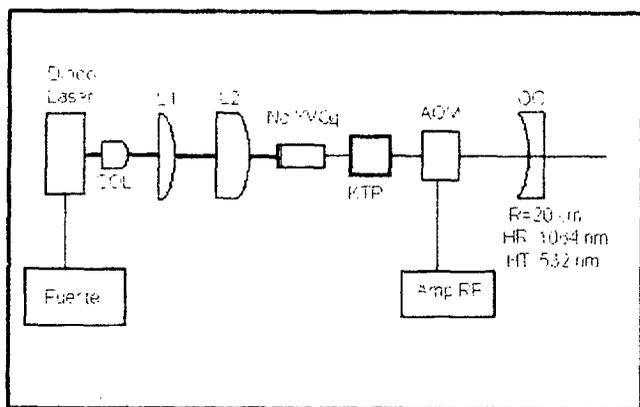


Figura 2

Las dimensiones de ambas cavidades eran las siguientes:

#### CAVIDAD EN V

Longitud de la rama del AOM 12 cm  
 Longitud de la rama del KTP 15 cm  
 Angulo respecto de la normal del espejo  $9^\circ$   
 Distancia entre el KTP y el espejo de fondo 3 cm  
 Espejo de fondo dicróico plano, reflectividad mayor que 99,8% en 1,06  $\mu\text{m}$  y mayor que 99% en 532 nm

#### CAVIDAD PLANO - CONCAVA

Longitud de la cavidad 10,5 cm  
 Distancia entre el YVO<sub>4</sub> y el KTP 3 cm

En ambos casos el acoplador de salida para el verde fue un espejo dicróico, 20 cm de radio de curvatura, reflectividad mayor que 99,8% en 1,06  $\mu\text{m}$  y menor que 5% en 532 nm.

Como elemento de conmutación para los pulsos QS se utilizó un modulador acusto-óptico modelo AQS 272GA4 controlado con una fuente de RF modelo ME-273, ambos de IntraAction Corp.

### III- RESULTADOS

La Figura 3 muestra la variación en la potencia media y la energía por pulso emitida en 532 nm con la configuración de la cavidad en V al variar la frecuencia de repetición del Q-Switch. A su vez la Figura 4 muestra el equivalente para la cavidad PC. La potencia media se midió con un detector piroeléctrico Scientech.

En ambas figuras se observa la disminución en la energía emitida por pulso para frecuencias superiores a la correspondiente al tiempo de emisión espontánea con valores típicos de 230  $\mu\text{s}$  para el YAG y de 90  $\mu\text{s}$  para el YVO<sub>4</sub>. La caída en la potencia media luego de alcanzar un máximo corresponde al deterioro en la calidad del pulso de 1,06  $\mu\text{m}$ , tanto en el ancho como en el valor de pico producido por el corto tiempo de acumulación de inversión de población pre-pulso. Dicho deterioro afecta también al pulso en 532 nm.

En la Figura 5 se ve el aumento del ancho del pulso y la disminución de la potencia de pico al aumentar la frecuencia de repetición del AOM.

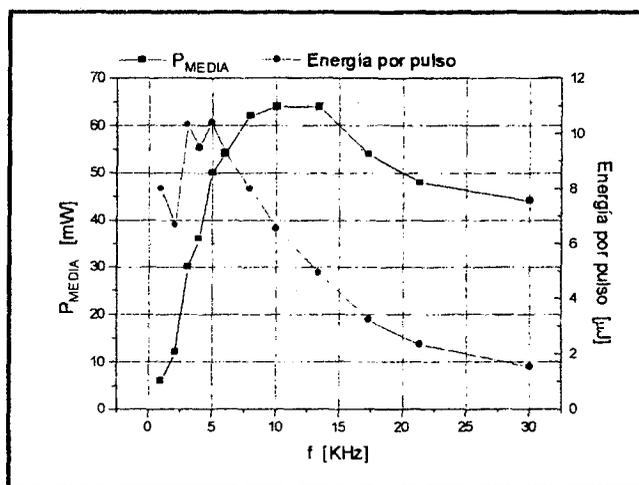


Figura 3

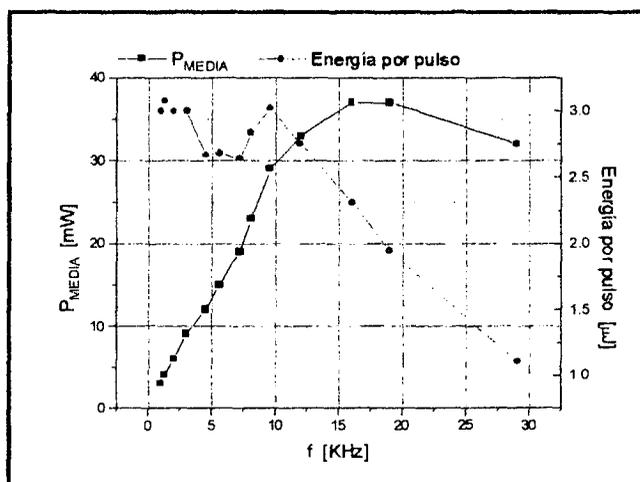


Figura 4

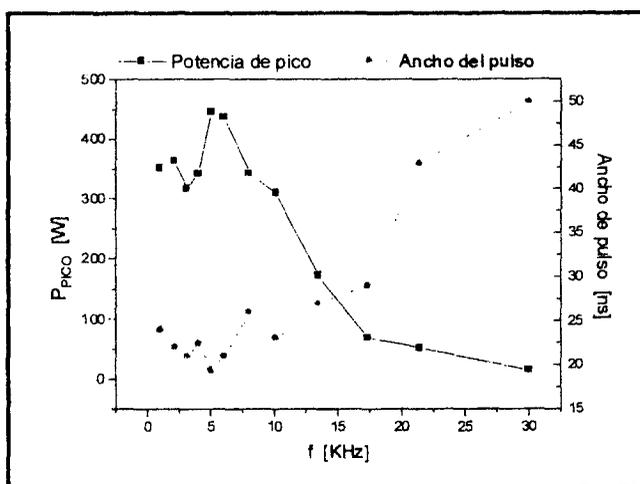


Figura 5

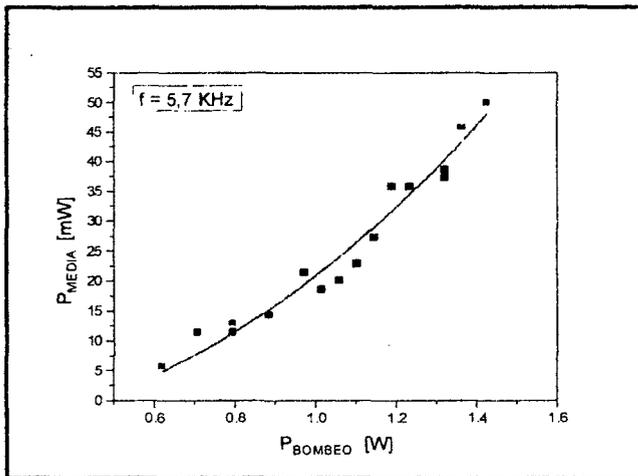


Figura 6

La Figura 6 muestra el aumento de la potencia media en 532 nm al incrementar la potencia de bombeo.

Estas mediciones se realizaron con la configuración de la cavidad en V, con el cristal láser Nd:YAG y con una frecuencia de repetición de 5 KHz.

La típica dependencia cuadrática que se observa en esta figura permite extrapolar la obtención de cerca de 100 mW de potencia media en 532 nm con una potencia de bombeo de 2 W, que es la nominal en este tipo de diodos. En nuestro caso la máxima potencia con la que se trabajó fue de 1,5 W.

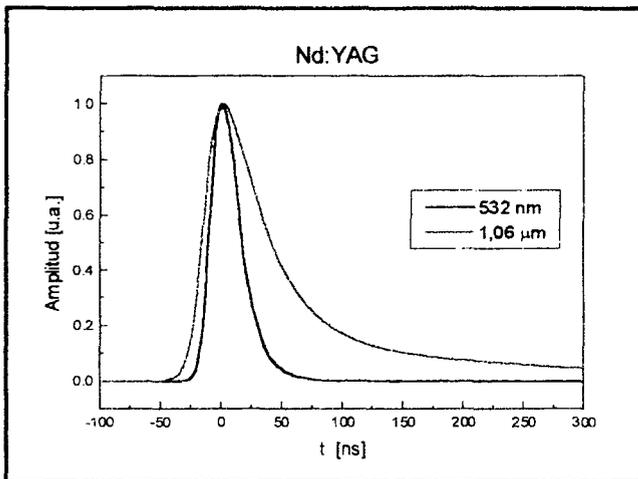


Figura 7

La Figura 7 muestra la superposición de los pulsos en 1,06 μm y 532 nm con anchos temporales a mitad de altura de 57 ns y 27 ns, respectivamente, para la cavidad en V con el cristal de Nd:YAG.

La Figura 8 muestra lo mismo pero para la configuración PC con el Nd:YVO<sub>4</sub>. En este caso los anchos a mitad de altura son 35 ns y 12 ns para 1,06 μm y 532 nm, respectivamente. Estas mediciones se realizaron con un diodo rápido de 500 ps de tiempo de trepada y un osciloscopio digital Hewlet-Packard de 250 MHz de ancho de banda y 1 ns de tiempo entre muestras.

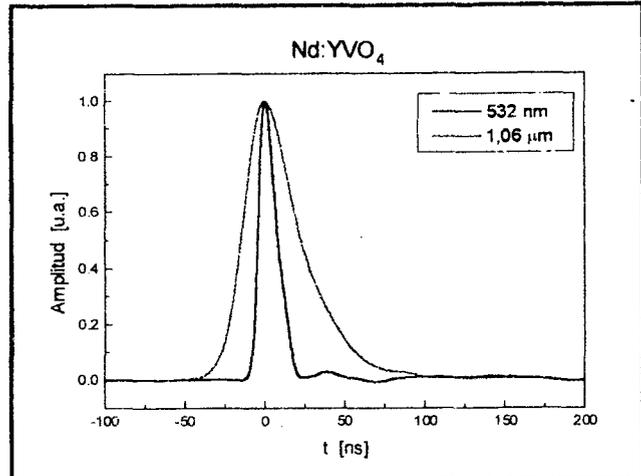


Figura 8

La emisión en 1,06 μm a la salida del acoplador de salida en operación continua, CW, era de 25 mW y de 45 mW con las cavidades en V y PC, respectivamente, indicando una potencia IR dentro de la cavidad mayor que 10 W. En estas condiciones, la emisión CW en 532 nm era menor que 1 mW.

Las ecuaciones de velocidad para la inversión de población y la intensidad de la radiación se pueden escribir<sup>2</sup>:

$$\frac{d\eta}{dt} = p - \gamma\eta - 2\kappa\Phi\eta \quad (1)$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \kappa(\eta - 1)\Phi \quad (2)$$

siendo  $\eta$  la inversión de población respecto de su valor umbral,  $\Phi$  el número total de fotones en el resonador óptico,  $p$  el bombeo,  $\gamma^{-1}$  el tiempo de decaimiento espontáneo de la inversión de población y  $\kappa^{-1}$  el tiempo de vida del fotón dentro de la cavidad.

A partir de la ecuación (2) se puede ver que la cola del pulso está asociada al tiempo de vida del fotón dentro de la cavidad,  $\kappa^{-1}$ , mientras que la velocidad de crecimiento es aproximadamente  $\eta - 1$  veces más rápida que la caída, de donde se puede inferir, que la asimetría del pulso indica en cuanto la inversión de población acumulada supera a la umbral.

Se resolvió numéricamente el sistema de ecuaciones (1)-(2) obteniéndose la evolución temporal de  $\eta$  y  $\Phi$  para distintos valores de la inversión de población máxima acumulada durante el bombeo. Definiendo  $\tau_1$  como el intervalo de tiempo entre los tiempos correspondientes al ancho del pulso a la mitad de la altura en la trepada y al valor máximo del mismo, y  $\tau_2$ , como el intervalo de tiempo entre los tiempos correspondientes al valor máximo del pulso y al ancho del pulso a la mitad de la altura en la bajada, se puede definir un indicador de la asimetría del pulso como el cociente  $\tau_2/\tau_1$ .

$$\log_{10}(\eta_{max}/A) = B\sqrt{1 + C \log_{10}(\tau_2/\tau_1)} \quad (3)$$

La Figura 9 muestra el aumento de la inversión de población inicial al aumentar el valor de dicho cociente y se pudo ajustar con la función (3) siendo  $A=0,2858$ ,  $B=0,544$  y  $C=18,9$  tres parámetros adimensionales e independientes de las características del láser.

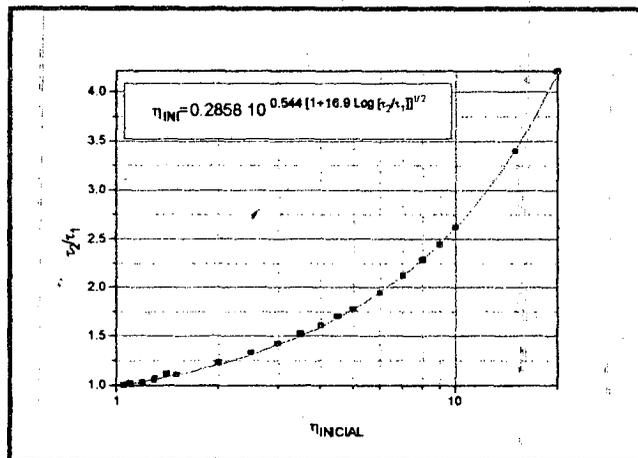


Figura 9

Utilizando esta expresión se obtuvo  $\eta_{max}$  para los pulsos IR mostrados en las Figuras 7 y 8 con valores de 5,1 para el Nd:YAG y 3,3 para el Nd:YVO<sub>4</sub>. Se ve que fue posible acumular más inversión de población en el caso del Nd:YAG que en el caso del Nd:YVO<sub>4</sub>. Esto se debe a que la cavidad PC es lo suficientemente corta como para que el AOM no introduzca tantas pérdidas entre pulsos.

Cabe mencionar que en la integración numérica de las ecuaciones (1) y (2) se supuso que la frecuencia de repetición del Q-Switch era lo suficientemente baja como para no limitar la acumulación en la inversión de población.

## CONCLUSIONES

Se obtuvieron dos fuentes de emisión pulsada en 532 nm con las siguientes características:

### CAVIDAD en V con Nd:YAG

Potencia media	65 mW
Energía por pulso	8 $\mu$ J
Potencia de pico	380 W
Ancho de pulso	22 ns
Frecuencia de corte	6 KHz

### CAVIDAD PC con Nd:YVO<sub>4</sub>

Potencia media	35 mW
Energía por pulso	3 $\mu$ J
Potencia de pico	230 W
Ancho de pulso	13 ns
Frecuencia de corte	15 KHz

Se observaron fluctuaciones pulso a pulso menores que el 5% en 1,06  $\mu$ m y de más del 15 % en 532 nm debido a modificaciones en la polarización de la frecuencia fundamental con el AOM.

Una de las mejoras que se tiene previsto realizar es introducir una lámina de cuarto de onda en 1,06  $\mu$ m para definir mejor los estados de polarización tanto de la frecuencia fundamental como de la segunda armónica y disminuir así las fluctuaciones pulso a pulso en 532 nm.

Aunque la emisión en CW en 532 nm es muy baja, del orden de 1 mW, es suficiente para realizar experiencias de Bombeo y Prueba. Para esto se deberá mejorar el montaje del KTP ya que la emisión del láser fluctúa con las vibraciones mecánicas de la mesa. Se lo utilizará para medir la concentración de O<sub>3</sub> en experiencias de disociación de clorofluorocarbonos en presencia de ozono.

## REFERENCIAS

- 1- M. L. Azcárate, J. Codnia, F. P. Diodati, A. A. Hnilo, M. A. Larotonda. SPIE proceedings 3572, 63, 370-378 (1999).
- 2- A. Yariv, "Quantum Electronics", 3<sup>o</sup> ed., Wiley, New York, (1988)