

MODIFICACIONES AL DISEÑO DE UN LASER DE RODAMINA BOMBEADO POR LAMPARA

D. Krygier, 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 LASALLE 4397 (B1603DAZ) Villa Martelli, Pcia. de Buenos Aires
e-mail: dkrygier@citefa.gov.ar, pdiodati@citefa.gov.ar

Se describen las mejoras en el desempeño de un prototipo láser de colorantes excitado por lámpara flash, a partir de las modificaciones a un diseño propio anterior. En las condiciones actuales la potencia del láser se incrementó en más de dos órdenes de magnitud, alcanzando un máximo de 4.8mJ por pulso (antes 15μJ), con una repetición de 1pps. La duración promedio del pulso es de 5μs (ancho a media altura) y la longitud de onda de emisión de 597nm con un ancho de línea de 1nm.

El notable incremento en la energía se debe a una suma de factores, entre los cuales se destacan el acortamiento del tiempo de crecimiento del pulso de bombeo, la sustitución de la cavidad reflectora anterior hecha con una lámina delgada de Al por otra de vidrio espejada en su cara externa; también se modificó la reflectividad del espejo del acoplamiento externo de la cavidad.

Recent improvements in a flashlamp pumped dye laser prototype are described, following specific modifications applied to our own previous design. The laser output power was increased further than two orders of magnitude ranging 4.8mJ per pulse (previously: 15μJ) at 1pps repetition rate. The average pulse width is 5μs (FWHM) and the wavelength is 597nm with 1nm linewidth. This increment in laser energy is due to several factors, one of the more important is the shortening of pumping pulse rise time, another main point was the substitution of a reflecting cavity by a new aluminium externally coated glass tube; finally the reflectivity of the output coupler was also optimized.

I. MOTIVACION DEL TRABAJO

El objetivo final del proyecto es desarrollar un equipo láser capaz de entregar pulsos de alta potencia para ser utilizado en el tratamiento de ciertas lesiones cutáneas⁽¹⁾. Los parámetros más relevantes para alcanzar dicho requerimiento son la energía (E_L) y duración ($\tau_{1/2}$) del pulso láser, así como la longitud de onda empleada.

La utilización de Rodamina6G como medio activo permite obtener emisión láser en ~590nm –cerca del pico de absorción de la hemoglobina (585nm)- con la posibilidad de sintonizarla en un rango amplio ~40nm si se incluye un elemento selector dentro de la cavidad.

En esta etapa del trabajo el esfuerzo se concentra en maximizar la energía por pulso y en optimizar su duración, aunque esta última cuestión es aún motivo de controversia entre los especialistas en el tema⁽²⁾.

II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Se muestran a continuación las distintas partes que componen al equipo:

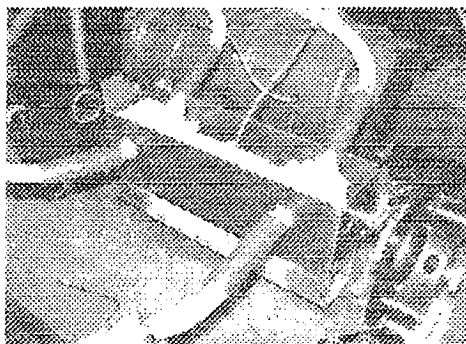


Figura 1: Cavidad de bombeo

La fuente de alimentación eléctrica permite ajustar la tensión de salida V_{HV} entre 0 y 2kV, la repetición de disparo va desde los 8sep (segundos entre pulsos consecutivos) hasta 20pps (pulsos por segundo). El encendido de la lámpara flash (LF) de Xe se activa mediante un trigger paralelo que inicia la descarga del pulso de corriente. Como colorante se emplea una solución de Rodamina (R6G) $10^{-4}M$ en etanol que circula a un caudal de 3litros/minuto por una celda de 3mm de diámetro. La LF se refrigera por medio de un circuito de agua desionizada.

III. MODIFICACIONES AL DISEÑO ORIGINAL

Bombeo

Se busca contar con un pulso de bombeo óptico que crezca rápidamente ($T_r \ll K_{ST}^{-1}$, con T_r : tiempo de crecida del pulso de excitación, K_{ST} : tasa de *cruzamiento intersistema*) para evitar el poblamiento del nivel triplete del colorante, que de otra forma provocaría una importante fuente de pérdidas⁽³⁾. Dicho objetivo se logra en parte minimizando la inductancia del circuito, para lo cual se quitó el inductor presente en el circuito de conformación del pulso de descarga. Se ubicó además el capacitor lo más cerca posible de la cavidad de bombeo (Fig. 1). En estas condiciones se obtuvo un pulso óptico de excitación con $\tau_{1/2} = 41\mu s$ y $T_r = 10\mu s$.

Eficiencia de la cavidad óptica

La recta de eficiencia de la cavidad se midió en diferentes etapas del trabajo con el propósito de registrar sucesivos avances. Se utilizó un fotodetector piroeléctrico con diferentes filtros para atenuar el haz, se experimentó además con distintos valores de tensión. Es importante

señalar que para cada nuevo valor de V_{HV} hace falta optimizar la orientación de los espejos a fin de maximizar la potencia de salida.

Al no contar con espejos multicapa específicos para la banda de emisión de la R6G, se optó por ensayar con una variedad de espejos disponibles para láseres de He-Ne, hasta encontrar el mejor acople con la salida (Fig.2).

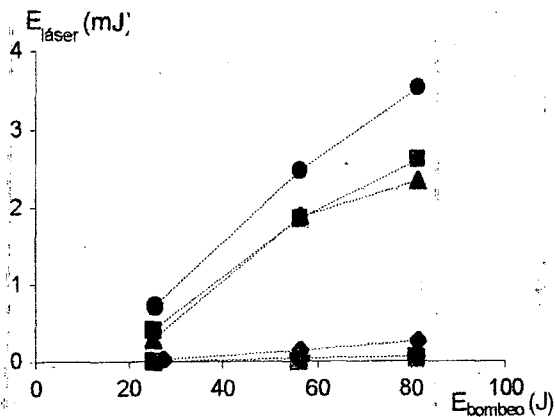


Figura 2: Espejos de diferente reflectividad

Para coleccionar la luz del bombeo y concentrarla en el medio activo, se reemplazó el dispositivo de acoplamiento óptico consistente en una envoltura del conjunto LF-celda, con una delgada lámina de papel Al, por un reflector cilíndrico de vidrio espejado en vacío (Lab. Multicapas-Citefa).

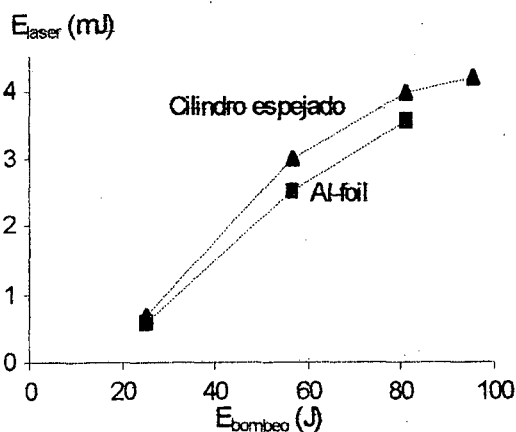


Figura 3: Comparación entre reflectores

Reducción de la distancia entre celda y LF:

Existen trabajos previos⁽⁴⁾ que señalan la importancia de acercar lo más posible la fuente de excitación al medio activo (*close coupling*) para cavidades de bombeo similar a la muestra. Para corroborar dicha hipótesis se experimentó mediante un carrito de desplazamiento que permitió variar la ubicación de la celda.

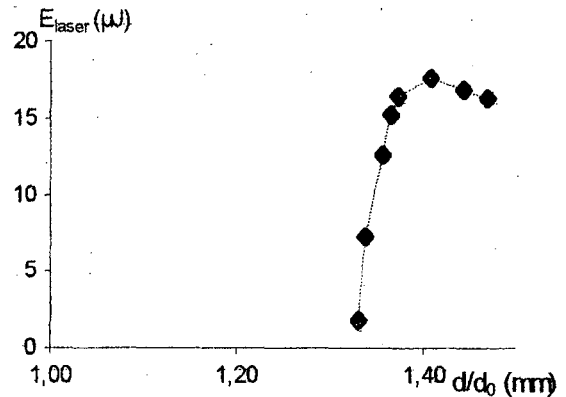


Figura 4: Proximidad entre la celda de colorantes y la LF

El brusco descenso de la curva por debajo de $d/d_0=1,4$ se debe a limitaciones del montaje que terminan obstruyendo la salida de luz por el extremo de la celda.

Espectro de emisión:

Se determinaron la λ y el ancho de línea de la emisión láser usando un espectrómetro Jarrel-Ash de 0.5nm de resolución, calibrado previamente con una lámpara de Ne.

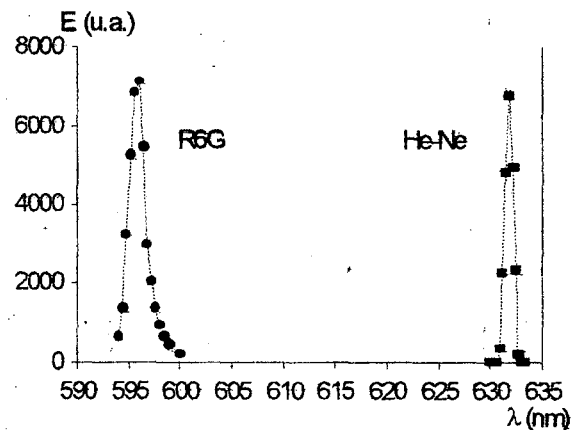


Figura 5: Curva espectral de la emisión láser

Rendimiento del equipo en el mediano plazo:

Ya que el equipo está concebido para funcionar durante varios minutos en forma ininterrumpida resulta de interés estudiar que ocurre en esta situación.

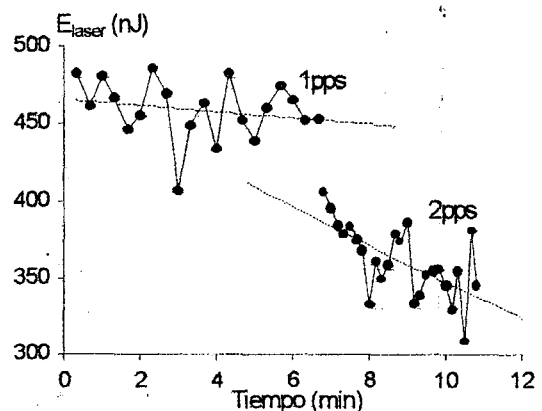


Figura 6a: Variaciones en la E_{pulso} con la repetición de disparo
CORDOBA 2002- 59

Se prestó particular atención a la energía por pulso y a la calidad espacial del modo.

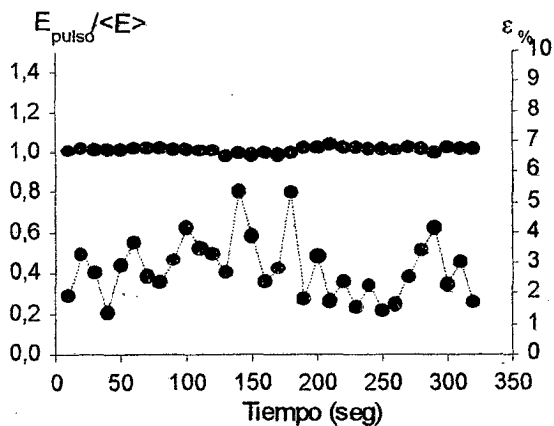


Figura 6b: Estabilidad de la E_{pulso} trabajando a 1 pps.

Efecto del quenching:

Se registró además en un osciloscopio de doble canal el pulso de excitación óptica en forma sincrónica al pulso láser. Más tarde se incorporó a la solución de Rodamina el quencher COT (CicloOctaTetraeno), que actúa disminuyendo el tiempo de vida del triplete, a fin de observar su efecto sobre la duración y energía del láser, así como sobre la terminación temprana del pulso⁽³⁾.

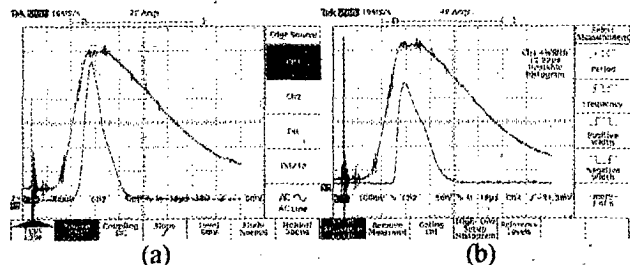


Figura 7: Acción del quencher (a): sin COT, (b): con COT.

El ancho de pulso medido es $\tau_{1/2} = 7\mu\text{s}$ y el tiempo de trepada (del 10% al 90% del valor máximo) $T_r = 4\mu\text{s}$. Los resultados varían según el V_{HV} aplicado. Después de agregar COT a la solución se obtiene $\tau_{1/2} = 11\mu\text{s}$ y $T_r = 3\mu\text{s}$. Estos cambios no son acompañados por un aumento en la energía. Es de hacer notar el ensanchamiento en la base de la señal del láser. También se observó que la forma del pulso cambia de un disparo a otro, y que a diferencia de lo que ocurría antes de agregar el quencher, presenta una mayor variedad de detalles.

IV. OBSERVACIONES Y CONCLUSION

Se confirma⁽¹⁾ que la condición de acortamiento de T_r no resulta crítica para alcanzar el umbral láser ($T_r = 10\mu\text{s} \gg K^{-1}_{ST} = 10\text{ns}$). Aunque sí afecta su eficiencia y determina el instante en que arranca la emisión.

Si bien la mejora introducida por el nuevo reflector espejado no parece muy significativa, permite adoptar un diseño más robusto, donde además en el futuro se espera

incorporar un sistema de refrigeración que incluye a la celda de colorante.

Trabajando a 1 pps las fluctuaciones en el valor de E_{pulso} no superan el 5% y el valor medio $\langle E_{\text{pulso}} \rangle$ se mantiene estable. Al aumentar la frecuencia de disparo a 2 spps esto ya no se cumple y la potencia empieza a declinar lentamente.

La elección apropiada del espejo de salida permitió incrementar la potencia en un factor del 100% respecto de la potencia obtenida en idénticas condiciones con el espejo anterior.

Se observa una clara dependencia en la condición de alineación de la cavidad con la energía luminosa depositada en el medio activo por el bombeo.

Se estima que el deterioro en la calidad óptica del medio activo producida por un calentamiento excesivo e inhomogéneo de la solución, es el mecanismo responsable de fuertes fluctuaciones observadas generalmente en E_L , así como de la disminución progresiva de $\langle E_L \rangle$ para funcionamiento prolongado (Fig.6a). La solución propuesta consiste por un lado en extraer el calor más eficientemente y por otro, procurar siempre una misma condición térmica para la cavidad cada vez que opera el equipo.

REFERENCIAS

[1] - D. Krygier, A. Hnilo, F.P.Diodati, ANALES AFA 11(1999)p89.
 [2] - A.J.Welch et al, Optical-Thermal Response of Laser Irradiated Tissue, Plenum Press, N.Y. (1995)p804.
 [3] - F.P.Schafer, Dye Lasers, Springer-Verlag, N.Y. (1977)p54.
 [4] - F.P.Diodati, O.E.Martinez, M.C.Marconi, Nota Técnica N°521, Citefa (1981).