

# Láseres excímeros de KrF y ArF excitados con una descarga capacitiva

José Manuel de la Rosa Vázquez

*Sección de Graduados, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica,  
Instituto Politécnico Nacional, 07738 México, D.F.*

(Recibido el 16 de junio de 1989; aceptado el 11 de octubre de 1989)

**Resumen.** Se presentan los resultados obtenidos en la investigación con láseres excímeros de KrF (248 nm) y ArF (193 nm) fabricados con tubos capilares y excitados a través de una descarga capacitiva. Con láseres de KrF se obtuvieron hasta 0.7 mJ de energía láser en pulsos de 5 ns de duración, lo que corresponde a una eficiencia del 0.17%. Se reporta también la operación del sistema como un láser de ArF.

**PACS:** 42.55.Hq; 52.80.-s

## 1. Introducción

Los láseres excímeros son láseres gaseosos pulsados que emiten en el ultravioleta. Estos se desarrollaron comercialmente desde hace 10 años basados en la tecnología de descargas eléctricas transversales, ya bien establecida como método de excitación en láseres pulsados de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> [1]. En la tecnología de descargas eléctricas transversales, resulta necesaria la preionización del medio gaseoso para establecer una descarga eléctrica uniforme [2]. En este tipo de arreglos se trata comúnmente de la excitación de volúmenes mayores a 500 cm<sup>3</sup> (por ejemplo, electrodos de 3 × 60 cm<sup>2</sup> separados de 2 a 3 cm), con la obtención de hasta 1 J de energía láser en pulsos de 10 ns de duración y eficiencias de hasta el 2% para láseres excímeros [3]. Estas cantidades de energía generadas por los láseres excímeros comerciales resulta para muchas aplicaciones (por ejemplo, en fotobiología, fotoquímica, espectroscopía, etc.) excesivamente grande, por lo que desde hace algunos años se han realizado esfuerzos [4-11] en el desarrollo de sistemas pequeños que permitan cubrir el intervalo de bajas energías (1-10 mJ). En el caso de láseres de N<sub>2</sub> (337 nm), debido a su baja eficiencia, estas cantidades de energía es posible lograrlas sólo cuando se excitan volúmenes mayores a 30 cm<sup>3</sup> a través de descargas eléctricas transversales [12]. En este trabajo se reporta la operación de láseres excímeros pequeños (1 cm<sup>3</sup> de descarga) excitados a través de una descarga eléctrica acoplada capacitivamente a la cámara de descarga. Estos sistemas no requieren de preionización, por lo que su construcción es relativamente simple.

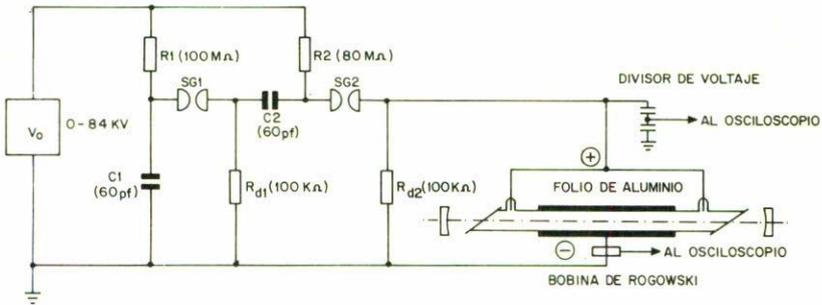


FIGURA 1. Arreglo experimental.

## 2. Descripción del sistema

La Fig. 1 muestra un diagrama esquemático del arreglo usado. Aquí la fuente de voltaje carga a los capacitores  $C_1$  y  $C_2$  en paralelo ( $C_1$  a través de  $R_1$  y  $C_2$  a través de  $R_2$ ) a un voltaje de 84 KV. Cuando  $C_1$ , el cual se carga más lentamente que  $C_2$ , ha alcanzado los 84 KV se produce la descarga de chispa en el interruptor de chispa SG1 conectando  $C_1$  y  $C_2$  en serie. La suma de los voltajes en  $C_1$  y  $C_2$  (168 KV) produce la descarga de chispa en SG2 (para lo cual el voltaje de ruptura de SG2 se establece mayor a 84 KV y menor a 168 KV, esto, como en el caso de SG1, se hace regulando la presión de  $N_2$  dentro de ambos interruptores de chispa) y se aplica el voltaje 168 KV a la cámara de descarga. La resistencia  $R_d$  se usa solo para aplicar el voltaje de ruptura a SG2 y posee un valor tal que permite prácticamente que el total de la carga almacenada en  $C_1$  y  $C_2$  fluya hacia la cámara de descarga.

El tubo láser es de vidrio Pyrex con un diámetro interno de 2 mm (diámetro externo de 7 mm) y 40 cm de longitud, sellado con ventanas de Suprasil al ángulo de Brewster. La separación entre los ánodos de Tungsteno soldados al vidrio es de 35 cm. El cátodo es una lámina de aluminio, que envuelve la parte central del tubo de vidrio (separación de 3 cm entre ánodos y cátodos), aislada con un baño de resina epóxica. El resonador óptico posee una longitud de 50 cm y está compuesto por espejos con reflectancias entre 0 y 98.3%; la absorción de los espejos de acople usados es cercana al 4%. Se usaron mezclas gaseosas de Kr:F<sub>2</sub>:He para el láser de KrF y de Ar:F<sub>2</sub>:He para el láser de ArF, las cuales se deben renovar continuamente dentro de la cámara de descarga. Con esta finalidad se usó un circuito recirculador de gas en base a un recipiente almacenador de gas y una bomba de recirculación HYCO HP 14. El volumen total del circuito gaseoso es de 3l. Debido a la agresividad corrosiva del Fluor todos los materiales del sistema, que mantiene contacto con éste, son de acero inoxidable ó teflón, excepto la cámara de descarga.

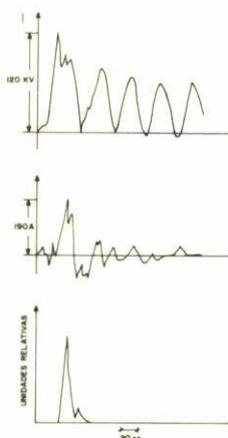


FIGURA 2. Evolución temporal del voltaje, la corriente y la potencia de la radiación láser emitida en la descarga del circuito de la Fig 1,  $F_2:Kr:He$  (4:70:800 hPa).

El voltaje y la corriente durante la descarga se midieron respectivamente con un divisor de voltaje capacitivo y una bobina de Rogowski acoplados a un Osciloscopio Tektronix 7834 (amplificadores 7A16) [13]. La evolución temporal de la potencia de la radiación láser y su energía se midieron con un fotodiodo S-20 y un medidor Rj-7100 Láser Precisión, respectivamente.

### 3. Resultados

En la Fig. 2 se muestran las formas del voltaje entre los electrodos de la cámara de descarga, la corriente en el cátodo y el pulso de radiación láser emitido. Las formas de voltaje y corriente dan cuenta del carácter oscilatorio amortiguado de la descarga. La cámara de descarga se comporta como un capacitor,  $C_L$ , el cual después de un tiempo grande se carga al voltaje  $V_L$  [13]

$$V_L = \frac{2C_p V_0}{C_p + C_L}, \quad (1)$$

en donde  $C_p = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$

La frecuencia de oscilación del voltaje y la corriente está determinada por [13]

$$f = \frac{1}{2\pi [C_e L]^{1/2}}, \quad (2)$$

en donde  $C_e = C_L C_p / (C_L + C_p)$  y  $L$  representa a la inductancia del circuito, que es aproximadamente  $1 \mu\text{Hy}$  [14]. Después de un tiempo, en el cual los interruptores de

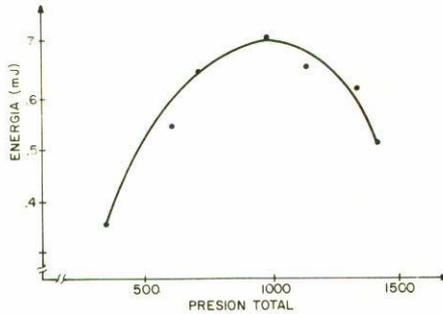


FIGURA 3. Energía de la radiación láser del sistema operado como un láser de KrF en función de la presión total.  $F_2 = 6$  hPa, Kr = 80 hPa,  $V_0 = 84$  KV,  $T_{\text{acople}} = 75$  %.

chispa regresan a su estado inicial,  $C_L$  se descargará a través de  $R_d$  con un tiempo característico  $\tau = C_L R_d$ .

La Fig. 2 muestra que la radiación láser sólo se emite durante el primer período de la descarga, en el cual el voltaje en la cámara de descarga aumenta rápidamente de cero a un valor máximo, y el pulso de corriente alcanza un valor pico máximo, o sea, cuando se aplican a la cámara de descarga las potencias instantáneas más elevadas en todo el proceso.

En la Fig. 3 se muestra la variación de la energía de la radiación láser, cuando el sistema se opera como un láser de KrF, en función de la presión total de la mezcla gaseosa (presiones de  $F_2$  y Kr optimizadas).

En la Fig. 4 se muestra para el láser de KrF la energía de la radiación láser en función del voltaje de carga  $V_0$  de los capacitores  $C_1$  y  $C_2$ .

En la Fig. 5 se muestra para el láser de KrF la energía de la radiación láser en función del coeficiente de reflexión del espejo de acople.

El sistema pudo ser operado hasta una frecuencia de 30 pulsos por segundo sin disminución de la energía de la radiación y el tiempo de vida de una mezcla gaseosa, medido como el número de pulsos en que la radiación láser disminuye de su valor máximo a la mitad de éste, resultó ser de  $10^4$  pulsos.

La Fig. 6 muestra para el láser de ArF la energía de la radiación láser en función de la presión del argón. Se obtuvo una energía máxima de  $15 \mu\text{J}$  a pesar de las grandes pérdidas introducidas por la óptica usada (espejo de acoplamiento con  $R = 57\%$  y  $T = 15\%$ ; segundo espejo con  $R = 80\%$ ).

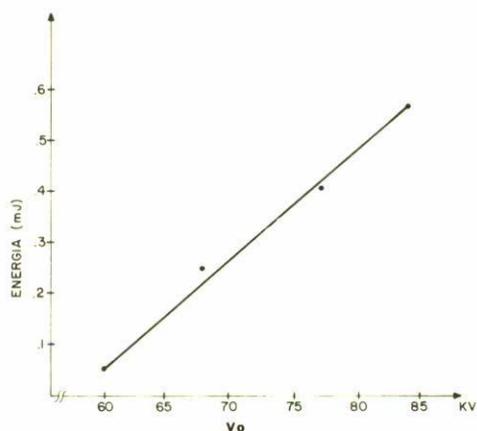


FIGURA 4. Energía de la radiación láser del sistema operado como un láser de KrF en función del voltaje  $V_0$ .  $F_2:Kr:He$  (6:74:670 hPa).

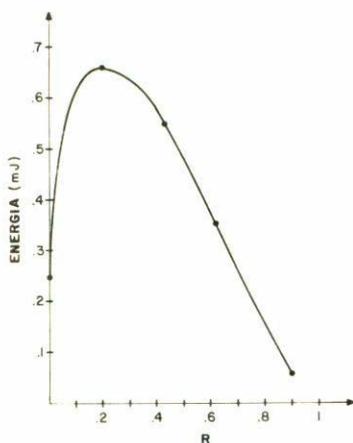


FIGURA 5. Energía de la radiación láser del sistema operado como un láser de KrF en función del coeficiente de reflexión  $R$  del espejo de acople.  $F_2:Kr:He$  (6:74:670 hPa)  $V_0 = 84$  KV.

#### 4. Conclusiones

Los resultados mostrados en este reporte, indican que los láseres excímeros de KrF excitados con una descarga eléctrica capacitiva son capaces de generar radiación láser con energías del orden de 0.7 mJ y eficiencias del 0.17% (eficiencia medida como la energía láser dividida entre la energía almacenada en los capacitores  $C_1$  y  $C_2$ ). La energía, según se muestra en la Fig. 4, podría aumentar al nivel de milijoules, con un correspondiente aumento de la eficiencia, si se aumenta el voltaje

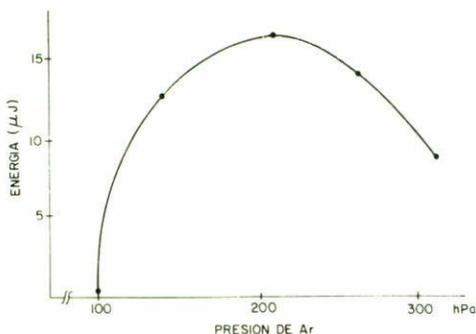


FIGURA 6. Energía de la radiación láser del sistema operado como un láser de ArF en función de la presión de argón.  $F_2 = 5$  hPa, presión total = 570 hPa,  $V_0 = 84$  KV, espejo de acople con  $T = 15\%$  ( $R = 57\%$ ), segundo espejo con  $R = 80\%$ .

de la descarga. Con la operación del sistema como un láser de ArF, estos sistemas operan prácticamente a todas las longitudes de onda de operación de los láseres excimeros comerciales.

#### Referencias

1. Ch. A. Brau, *Excimer Lasers*, Ed. Ch. K. Rodes. Springer-Verlag (1984) pp.87-137.
2. M. Rokni, J. H. Jacob, *Applied Atomic Collision Physics*, Vol. 3 "Gas Lasers", Eds. H.S. W. Massey, E.W. Mc Daniel, B. Bederson. Academic Press (1982) pp.273-317.
3. H. Pummer, V. Sowada, P. Oesterlin, U. Rebhan, D. Basting, *Laser und Optoelectronic* 2 (1985) 141.
4. L.A. Newman, *Appl. Phys. Lett.* 33 (1978) 501.
5. T. Gerber, W. Lüthy, P. Burkhard, *Optics Comm.* 35 (1980) 242.
6. P. Burkhard, T. Gerber, W. Lüthy, *Appl. Phys. Lett.* 39 (1981) 19.
7. D. Cleschinski, D. Dammasch, H.J. Eichler, J. Hamisch, *Optics Comm.* 39 (1981) 79.
8. Z. Zhov, Y. Zeng, M. Qiu, *Appl. Phys. Lett.* 43 (1983) 347.
9. T. Gerber, P.J.M. Peters, H.M.J. Bastiaens, *Optics Comm.* 53 (1985) 401.
10. H.J. Eichler, J. Hamisch, B. Nagel, W. Schmid, *Appl. Phys. Lett.* 46 (1985) 911.
11. J. de la Rosa, H.J. Eichler, *Optics Comm.* 64 (1987) 285.
12. B. Oliveira dos Santos, C.E. Fellows, J.B. de Oliveira e Souza, C. A. Massone *Appl. Phys. B* 41 (1986) 241.
13. J. de la Rosa, Doktorarbeit, TU-Berlin (1987) 19-21.
14. Referencia [12], 36-44.

**Abstract.** This paper reports the investigation of capillary excimer lasers excited with a capacitively coupled discharge. KrF laser action was observed with output energies up to 0.7 mJ in pulses with 5 ns FWHM duration and 0.17% efficiency. ArF laser action with this arrangement is also reported.