

Modelo de la descarga eléctrica que excita a un láser pulsado de HF en régimen multilínea

M. T. BERNAL, C. F. MOSQUERA*, C. A. RAFFO, J. L. LADAGA, E. G. SANCHO*

Laboratorio de Láser - Facultad de Ingeniería - UBA
Paseo Colón 850 (1063) - Capital Federal - Argentina
e-mail: esancho@aleph.fi.uba.ar

Mediante un modelo de la descarga eléctrica transversal, se reproduce el pulso obtenido con un láser de HF, iniciado con una mezcla de SF₆/C₃H₈. Se desprecian los factores que alteran la uniformidad del medio durante la descarga (gradientes de temperatura, formación de arcos, etc.). Se obtienen las poblaciones de las reacciones que contribuyen significativamente a la salida láser, las temperaturas electrónica y traslacional; y las potencias de salida para régimen multilínea, que muestran una satisfactoria concordancia con las experimentales. Del cálculo surge que el láser se dispara antes de finalizado el pulso de corriente y que, al disminuir la temperatura de entrada de la mezcla gaseosa, se verifica un aumento significativo de la potencia espectral del pulso láser, en coincidencia con la experiencia.

With a model of the HF laser transversal electrical discharge in SF₆/C₃H₈ mixture, we obtain the laser pulse in multiline operation. The model assumes an homogeneous composition of the gas: any cause that could alter this homogeneity (such as temperature gradients, arcs, etc.) were regarded. A plot of the output power against time is obtained in satisfactory agreement with experimental values. With the reduction of the input temperature of the mixture, we verified a significant increase of spectral power pulse, in agreement with the experiment.

Introducción

A fin de reproducir los valores experimentales de la potencia del pulso del láser de HF desarrollado en el Laboratorio ¹, se simuló por computadora la descarga eléctrica que excita el medio activo.

Las ecuaciones del modelo incluyen las principales reacciones y los mecanismos de activación y desactivación que contribuyen significativamente a la potencia de salida del láser. Se despreciaron los factores que alteran la uniformidad del medio activo, tales como: gradientes de temperatura, formación de arcos, etc. Así se obtienen las poblaciones, las temperaturas electrónica y traslacional en función del tiempo en el intervalo en que se produce el pulso láser, la ganancia en función de la temperatura traslacional y la potencia de salida en función del tiempo. De aquí surge que el láser se dispara antes de finalizado el pulso de corriente, lo que coincide con la experiencia.

1.- Características del láser y de la descarga

El láser de HF ¹ es pulsado, con descarga eléctrica transversal rápida ($\approx 1 \mu\text{s}$). Tiene electrodos de grafito con perfil de Rogowsky separados 1.2 cm, de 45 cm de longitud y un volumen activo de 0.12 litros. La mezcla es de 50 Torr de SF₆ y 4 Torr de C₃H₈. En régimen multimodo y con 20 KV, el pulso de salida es de alrededor de 40 mJ con un ancho temporal de 0,5 μs . De datos experimentales se determinaron ², mediante diferencias finitas, valores de la intensidad de corriente en función del tiempo que se ajustaron con un polinomio.

2.-Determinación de las poblaciones, temperatura electrónica y traslacional

*Autor a quien dirigir la correspondencia

La cinética química del medio activo iniciada por la descarga eléctrica, a pesar de su complejidad, fue descrita con pocas ecuaciones, complementadas con dos ecuaciones de balance energético y un modelo simple para el plasma electrónico que permitió obtener la evolución temporal de la temperatura electrónica³.

3.- Ganancia

La ganancia umbral estimada de nuestro dispositivo es $\alpha = 0.007 \text{ cm}^{-1}$.

Para determinar el instante en que cada línea de emisión láser alcanza la ganancia umbral, se calculó la ganancia asignando a las poblaciones vibro-rotacionales de la molécula de HF la distribución de Maxwell-Boltzman⁴. Se consideró una forma de línea lorentziana, pues a las presiones de trabajo el ensanchamiento es colisional.

4.- Energía y potencia

La energía por unidad de volumen del pulso, $E(t,v)$, fue calculada³ para la línea 1P(6) del láser de HF.

En operación multilínea, la energía total del pulso por unidad de volumen se obtiene como $\sum_v E(t,v)$. La suma se efectúa teniendo en cuenta el acoplamiento en la variación de las poblaciones con el tiempo. En la fig. 1 se grafica la potencia del pulso de salida como contribución de las líneas 1P(5), 1P(6), 1P(7), 1P(8), 2P(2), 2P(5) y 3P(2), contrastada con el láser sintonizado en la línea 1P(6). Los valores calculados para la energía total del pulso, 30 mJ y 0.45 μs de ancho temporal se acercan satisfactoriamente a los valores experimentales.

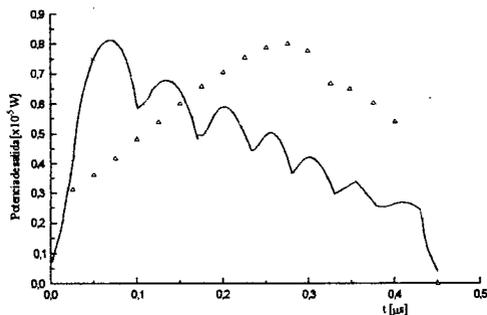


Fig. 1 - Δ : Potencia de salida del pulso sintonizado para la línea 1P(6). —: Idem en operación multilinea.

6-Variación de la potencia de salida con la temperatura traslacional

En forma experimental⁵ se comprobó que, disminuyendo la temperatura de las mezclas gaseosas (SF_6/H_2 , SF_6/CH_4 , $\text{SF}_6/\text{C}_3\text{H}_8$) aumentan tanto el valor pico de la potencia de salida del láser como la intensidad de las contribuciones espectrales.

Con la disminución de la temperatura traslacional inicial de los gases se calculó, para la proporción dada de la mezcla de SF_6 y C_3H_8 , la energía del pulso en función de la presión del medio (con la temperatura como parámetro) para la línea 1P(6), y la intensidad -a una presión cercana a la correspondiente al pico de energía- para las líneas 1P(6), 2P(7) y 2P(3).

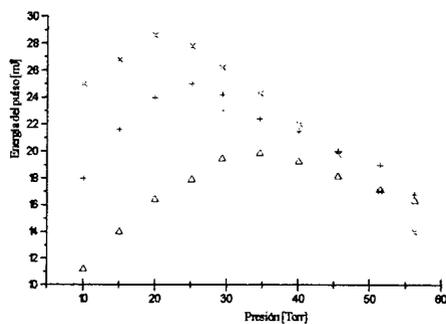


Fig. 2 - Energía del pulso (línea 1P(6)) vs. presión de $\text{SF}_6/\text{C}_3\text{H}_8$. Temperaturas traslacionales iniciales: $\blacktriangle T = 333 \text{ K}$; $+ T = 298 \text{ K}$; $\times T = 233 \text{ K}$

Los resultados obtenidos por cálculo en el presente trabajo para la mezcla de SF_6 y C_3H_8 muestran, figs. 2 y 3, un comportamiento similar a los experimentales para las otras mezclas. Al disminuir la temperatura traslacional, disminuyen las velocidades de reacción correspondientes a la desactivación por colisiones entre moléculas de HF excitadas, y con átomos de flúor. Asimismo aumenta el tiempo en que se alcanza la ganancia umbral, y se modifican las $\chi_{\text{rad}}(\nu)$ (que a su vez dependen de la intensidad acoplada a la cavidad).

El resultado de todos estos fenómenos puede dar lugar a una variación de las poblaciones vibro-rotacionales, en favor de un aumento de la inversión de población para los valores de j más bajos dentro de cada transición vibracional, tal como se observa experimentalmente⁵.

Conclusiones

El cálculo de la potencia y la energía del pulso de salida multilinea, al coincidir satisfactoriamente con los resultados experimentales, verifican lo acertado del modelo de la corriente durante la descarga y de las hipótesis efectuadas para determinar las poblaciones y la temperatura traslacional.

Asimismo, el modelo permite dar respuesta al aumento de la intensidad espectral observado cuando se disminuye la temperatura de entrada (traslacional) de la mezcla gaseosa.

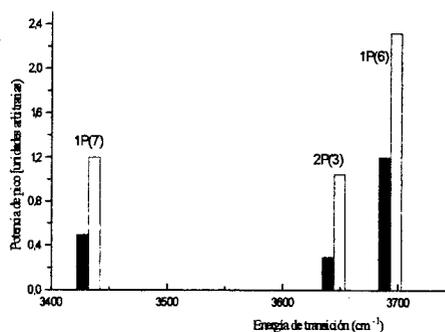


Fig. 3 - Potencia pico de salida (en unidades arbitrarias) para las líneas 1P(6), 2P(3) y 2P(7) con una mezcla 30 Torr de $\text{SF}_6/\text{C}_3\text{H}_8$, para dos temperaturas de traslación iniciales: $\blacksquare T = 298 \text{ K}$; $\square T = 233 \text{ K}$

Referencias

- 1- C. A. Raffo, C. F. Mosquera and P. A. Sorichetti, Rev. Sci. Instr., vol. 59, 2090 (1988).
- 2- P. A. Sorichetti, Comunicación interna FIUBA (1988).
- 3- M. T. Bernal, C. F. Mosquera, C. A. Raffo, J. Ladaga y E. Sancho, Anales AFA N° 7, aceptado para su publicación.
- 4- Emanuel G., Handbook of Chemical Lasers, chapter 8, (1976).
- 5- M. Obara and T. Fujioka, Appl. Phys. Lett., vol. 25, 656 (1974).