

Estudios del efecto optogalvánico en una lámpara de cátodo hueco

V. D'Accurso y F. A. Manzano

Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CEILAP)
Instituto de Investigaciones Científicas y Técnicas de las
Fuerzas Armadas (CITEFA) - CONICET
Zufriategui 4380 (1603) Villa Martelli, Buenos Aires
e-mail: manzano@udceilap.edu.ar

Con la finalidad de verificar las predicciones de nuestro modelo teórico, que describe la evolución temporal de las señales optogalvánicas obtenidas en una descarga en régimen de luminiscencia negativa en Neón, se realizaron medidas espectroscópicas en diversas condiciones de trabajo. A tal efecto se diseñó y construyó una lámpara de cátodo hueco conformada por un cilindro de Tantalio y dos ánodos en forma de anillo ubicados en cada extremo del cátodo, pudiéndose operar a distintas presiones de Neón y variar la corriente hasta 50 mA. Usando la emisión de un láser de colorante pulsado con un ancho de línea similar al de las transiciones $2p_j-1s_j$ del Neón se determinaron las densidades de población de los primeros estados excitados, hallándose una buena concordancia con los valores calculados a partir del modelo y simultáneamente con estos valores se logra un buen acuerdo entre la señal optogalvánica teórica y la medida experimentalmente.

As an assessment of our theoretical model that describes the temporal evolution of optogalvanic signals in a negative glow discharge in neon, we carried out spectroscopic measures for different conditions. To fulfill this objective, we designed and built a hollow-cathode lamp, with a tantalum cylinder as the cathode, and two ring shaped anodes at both ends of the cathode. We used that lamp at different pressures and currents up to 50 mA. We determined population densities of the first excited states of neon by means of a pulsed dye laser with a linewidth close to the ones of the $2p_j-1s_j$ transition. The measured populations and optogalvanic signals are in good agreement with the predictions of our theoretical model.

Introducción

El efecto optogalvánico está basado en los cambios de las propiedades eléctricas de una descarga gaseosa, que se manifiestan como variaciones en la corriente de sostenimiento, causados al iluminar el plasma con radiación de una frecuencia resonante con una transición óptica de sus átomos o moléculas. La evolución temporal de las señales optogalvánicas, su signo y amplitud dependen del tipo de irradiación, de la corriente y tipo de descarga, del gas y de la transición excitada por la radiación láser.

Anteriormente hemos desarrollado un modelo teórico [1-4] que describe la dinámica del efecto optogalvánico en descargas de luminiscencia negativa en Neón dentro de un cátodo hueco iluminado por un pulso láser sintonizado en transiciones que conectan la primera con la segunda configuración excitada, logrando un buen acuerdo con las medidas de las señales optogalvánicas realizadas en nuestro laboratorio a partir de una lámpara comercial.

De la resolución de las ecuaciones de balance del modelo, sin un término que represente la iluminación láser, se obtenían las densidades de población en estado estacionario de las dos primeras configuraciones excitadas que mostraban un acuerdo satisfactorio con las mediciones realizadas por otros autores para este tipo de descargas. En nuestros trabajos experimentales estas determinaciones no era posible de realizar, por medio de medidas espectroscópicas precisas, debido a que el cátodo hueco consistía de un tubo cilíndrico con una única abertura.

En este trabajo presentamos el diseño y la descripción del funcionamiento de una lámpara de cátodo hueco que permite el pasaje de radiación a través de su eje con el objetivo de obtener datos de la descarga para ser confrontados con los predichos por el modelo y determinar en forma precisa la variación de diversos parámetros del plasma con la presión y la corriente para extender la validez del modelo a distintas condiciones de operación. Además presentamos medidas espectroscópicas preliminares de las que se deducen valores de la temperatura del gas y de las densidades de población de la primera configuración excitada que concuerdan razonablemente con lo predicho en forma teórica. Actualmente se sigue trabajando en determinar los valores de otros parámetros de la descarga de esta lámpara para ser incluidos en el modelo y en mejorar la precisión de las mediciones.

Resultados experimentales

Con la finalidad de poder realizar las medidas de densidad de población de los niveles excitados y compararlas con las predicciones teóricas, se diseñó y construyó una lámpara conformada por un tubo de Tantalio de alta pureza como cátodo hueco y dos ánodos en forma de anillo del mismo material ubicados en cada extremo del cátodo. Los tres elementos fueron cuidadosamente alineados para lograr una simetría cilíndrica (Fig. 1 y 2). Las dimensiones de los electrodos y su ubicación relativa se muestran en la Fig. 3. Esta configuración permite el pasaje de radiación a través del eje para realizar medidas de absorción, con y sin resolu-

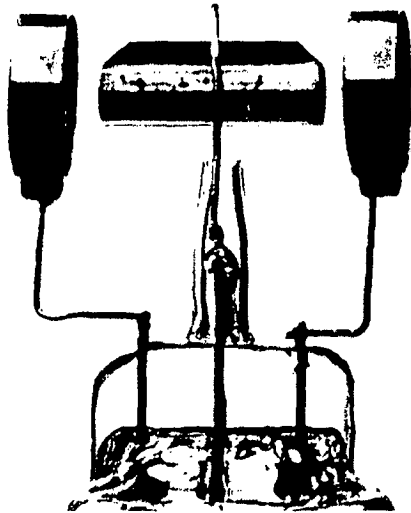


Fig. 1. Vista lateral de los electrodos y de la base removible de la lámpara.

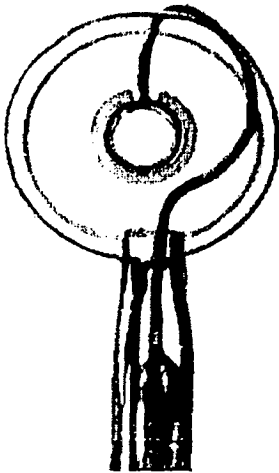


Fig. 2. Vista de frente de los electrodos. El cátodo y su sostén se encuentra rodeados por tubos de vidrio.

ción radial, y medidas de fluorescencia inducida por láser en forma más sencilla que la lámpara anteriormente utilizada. Los electrodos se ubican en la base removible de una celda de vidrio evacuable ($\sim 10^{-6}$ Torr) de buena estanqueidad que permite el funcionamiento de la lámpara por períodos prolongados de tiempo sin reemplazar el gas. El pasaje de radiación se produce a través de dos ventanas de cuarzo de buena calidad óptica alineadas con los electrodos. Para inhibir eventuales descargas entre el lado externo del cátodo y los soportes de los ánodos se rodeó al primero con un tubo de vidrio y fueron separados cada ánodo del cátodo por láminas de mica con perforaciones que permiten el pasaje de la descarga sólo por el centro del cátodo. Se puso especial énfasis en la limpieza de los materiales para evitar el desgase de los elementos y eliminar así la presencia de impurezas que afecten el funcionamiento de la lámpara y la estabilidad de la descarga.

Se operó esta lámpara a distintas presiones (1-30 Torr) de Neón de alta pureza (99.999 %) y diversas corrientes

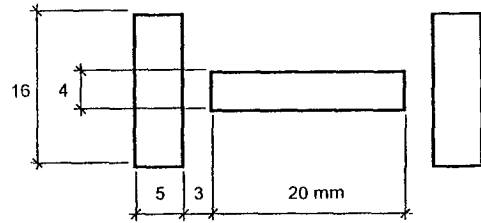


Fig. 3. Dimensiones y ubicación del cátodo y los ánodos.

(1-50 mA) obteniéndose distintos tipos de descargas e identificándose al menos 3 regímenes de funcionamiento de descargas de cátodo hueco. Para presiones inferiores a 2 Torr la región luminosa no se encuentra totalmente confinada en el interior del cátodo en el rango de corrientes de trabajo. A medida que la presión sube la región luminosa se confina dentro del cátodo, su brillo es intenso y radialmente uniforme. Para bajas corrientes y con presiones del orden de 9 Torr la descarga es más brillante cerca de las paredes del cilindro y para presiones superiores se atenúa considerablemente la luminosidad en el eje debido a que la energía de los electrones que llegan al centro del cátodo no es suficiente para poblar eficientemente los niveles de la segunda configuración. Estas observaciones concuerdan con las mediciones de distribución espacial de población hecha por otros autores [5]. Este comportamiento se compensa al elevar la corriente.

Con el objetivo de determinar la temperatura del gas de nuestra lámpara se midió el ancho de línea de diversas transiciones utilizando un interferómetro Fabry-Pérot plano-plano de espaciado variable (Burleigh TL-15, fineza=43). Para realizar dicha evaluación y deconvolucionar la respuesta instrumental, a la separación entre espejos seleccionada, se registraron los interferogramas producidos con un láser de He-Ne. Para su posterior procesamiento los anillos fueron capturados por medio de una cámara de video Sony (512 x 512) siendo transferidas las imágenes a una computadora personal por medio del programa frame grabber Cortex-1.

Para una presión de 6 Torr de Neón, una corriente de sostenimiento de 22 mA y con la suposición de ensanchamiento Doppler para las líneas, la temperatura del gas calculada a partir de las mediciones fue de 1.100 K, valor que se encuentra dentro del rango de temperaturas medidas en condiciones similares por otros autores (800-2.000 K) [6-8].

De los valores obtenidos de experiencias de absorción de un haz de un láser de colorantes pulsado (ATAM = 6 nseg) se calcularon las densidades de población de los cuatro primeros estados excitados del Neón ($1s_i$ con $1 \leq i \leq 5$, en notación de Paschen). Para realizar esta determinación se midió la diferencia de amplitud de los pulsos entre un haz de frecuencia resonante y otro no resonante con una transición del Neón después de pasar a través del eje del cátodo hueco. El control de frecuencias resonante (no resonante) se realizó maximizando (anulando) la señal optogalvánica. Las intensidades de los pulsos utilizados fueron lo suficientemente bajas como



Fig. 4. Imagen de los anillos del láser de colorante a la salida del Fabry-Pérot.

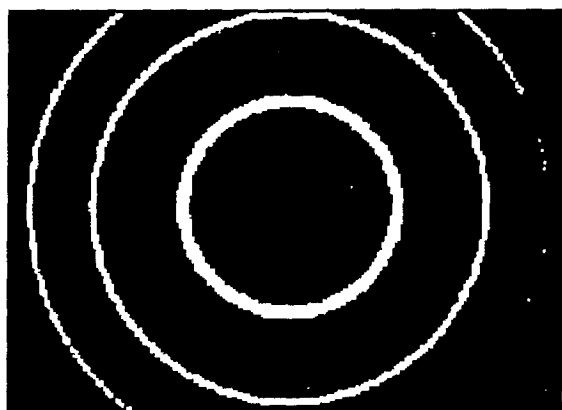


Fig. 5. Imagen de los anillos de la lámpara a la salida del Fabry-Pérot.

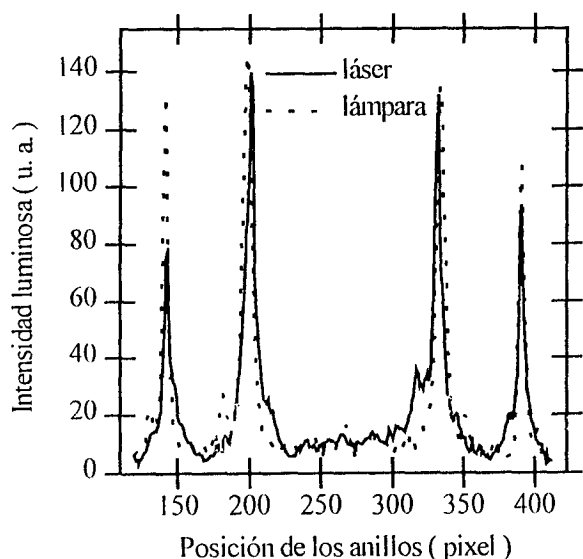


Fig. 6. Perfil transversal de los anillos del láser de colorante y la lámpara a la salida del Fabry-Pérot.

para no saturar las transiciones y maximizar el porcentaje de absorción. Para cada frecuencia de excitación se modificó la alineación del láser de colorantes con el fin de obtener una emisión de pulsos con un ancho de línea similar al de las líneas emitidas por la lámpara

($\sim 3 \times 10^{-3}$ nm), realizando esta comparación con el dispositivo experimental utilizado para la medición de la temperatura del gas (Fig.4 - 6).

Las amplitudes de los pulsos láser se registraron con un detector TRG 105B con superficie S-20 (rise-time = 0.5 nseg) y promediadas con un osciloscopio Tektronix TDS 540A.

Para una presión de 6 Torr de Neón y una corriente de sostenimiento de 22 mA los valores para la densidades de población de los niveles de la primera configuración y las transiciones utilizadas se presentan en la Tabla I.

TABLA I: Densidades de población de la primer configuración excitada del Neón.

Nivel	Transición utilizada		Densidad
$1s_5$	594,5 nm	$1s_5 - 2p_4$	$4,6 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$
$1s_4$	603,0 nm	$1s_4 - 2p_2$	$3,4 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$
$1s_3$	616,3 nm	$1s_3 - 2p_2$	$\sim 2 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$
$1s_2$	585,2 nm	$1s_2 - 2p_1$	$6,7 \times 10^{11} \text{ cm}^{-3}$

La magnitud de estas densidades para los niveles $1s_5$, $1s_4$ y $1s_2$ coinciden con las determinadas por otros autores [9-10] aunque son ligeramente inferiores a las calculadas por medio del modelo en estado estacionario a una temperatura del gas de 1.100 K. El valor de la densidad para el nivel $1s_3$ es inferior a lo esperado debido a que el láser funcionaba, a la frecuencia y ancho de línea seleccionadas, en forma inestable introduciendo errores importantes en su determinación. Actualmente se sigue trabajando para disminuir los errores de esta medición.

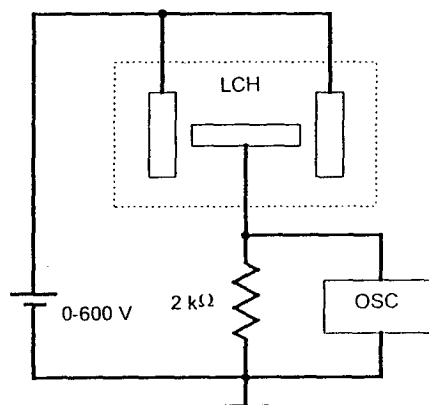


Fig. 7. Circuito utilizado para la medición de la señal optogalvánica: LCH, lámpara de cátodo hueco; OSC, osciloscopio.

En la Fig.7 se muestra el circuito electrónico utilizado para la medición del efecto optogalvánico con el cual se obtiene la señal mostrada en la Fig.8 para la transición $1s_5-2p_4$, a una presión de 6 Torr de Neón y una corriente de sostenimiento de 22 mA. La forma temporal y signos de las señales optogalvánicas obtenidas con la lámpara construida son similares a las detectadas con la lámpara comercial [4], a pesar de la distinta geometría, con una

ligera diferencia en la relación de amplitudes del pico positivo al pico negativo.

Como puede apreciarse se sigue manteniendo la buena concordancia entre los resultados del modelo y las señales experimentales. La diferencia en amplitud y recuperación al estado estacionario del pico negativo de la señal optogalvánica calculada con la obtenida experimentalmente es debida a la utilización en el modelo de coeficientes, como el de difusión ambipolar, que había sido determinado para la lámpara comercial y que serán medidos para esta nueva lámpara.

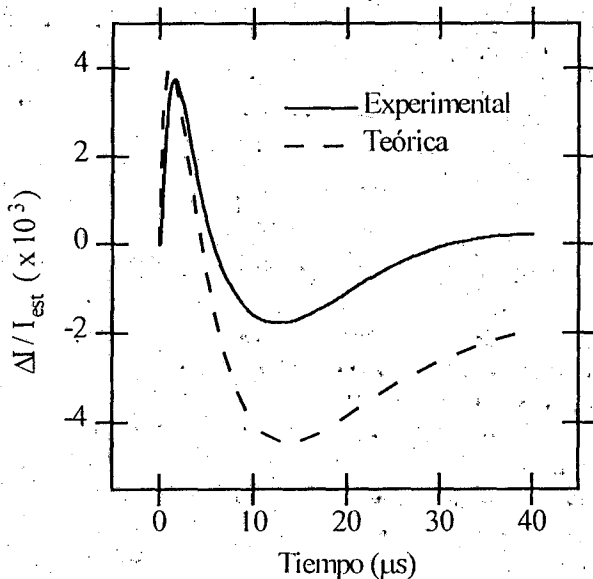


Fig. 8. Señal optogalvánica teórica y experimental para la transición $1s_5-2p_4$

Conclusiones

Se ha logrado un razonable acuerdo entre las magnitudes de las concentraciones de población de la primera configuración excitada predichas por el modelo y las determinadas experimentalmente así como el acuerdo entre las señales optogalvánicas teóricas y experimentales.

Se espera mejorar la concordancia incluyendo en el modelo las nuevas condiciones de trabajo por medio de futuras medidas.

Agradecimiento:

Agradecemos al Sr. M. Seifert por la construcción de la lámpara de cátodo hueco pasante. Además agradecemos al Sr. C. Morales por la confección de los dibujos.

Referencias

- [1]- F.A. Manzano, V.B. Slezak y V. D'Accurso, Opt. Comm. **109**, N° 1&2, 65-70 (1994).
- [2]- V. D'Accurso, F.A. Manzano y V.B. Slezak, Appl. Phys. B **63**, 375-380 (1996).
- [3]- V.B. Slezak, V. D'Accurso y F.A. Manzano, J. Opt. Soc. Am. B **13**, 2701-2707 (1996).
- [4]- V. D'Accurso, V.B. Slezak y F.A. Manzano, Anales AFA **6**, 1994.
- [5]- E.M. van Veldhuizen and F.J. de Hoog, J.Phys.D: Appl. Phys **17**, 953-968 (1984).
- [6]- N.Uchitomi, T.Nakajima, S.Maeda and C.Hirose, Opt.Comm. **44**, 154-158 (1983).
- [7]- E.M. van Veldhuizen, F.J. de Hoog and D.C. Schram, J. Appl. Phys. **56**, 2047-2055 (1984).
- [8]- R.A. Keller, B.E. Warner, E.F. Zalewski, P. Dyer, R. Engleman Jr. and B.A. Palmer, J. de Physique C7-44, 23-33 (1983).
- [9]- E.F.Zalewski, R.A.Keller and R.Engleman Jr., J. Chem. Phys. **70**, 1015-1026 (1979).
- [10]- R.A.Keller and E.F.Zalewski, Appl. Opt. **19**, 3301-3305 (1980).