

ESTUDIO DE LA DESCARGA LUMINISCENTE DE RADIO FRECUENCIA EN ATMÓSFERAS FAVORABLES A LA FORMACIÓN DE POLÍMERO, UTILIZANDO LA DOBLE SONDA DE LANGMUIR

Armando Sarmiento S.¹
Jaime Castro B.²

¹Universidad de Pamplona-FCB-GIOP-
Departamento de Física y Matemáticas - Pamplona - NS - Colombia
asarmientos@unipamplona.edu.co

²Lab. del Plasma, Escuela de Física, UIS, Bucaramanga, Colombia.

RESUMEN

Se describe la instalación de un reactor plásmico versátil y de bajo costo, operando en el rango de r.f (27,12 MHz) con una potencia de hasta 150 W, para la deposición de películas de polímero y tratamiento superficial de materiales. Mediante este dispositivo se realizó la deposición de películas de polímero de butano, isobutano y etileno. El plasma generado en el reactor se estudia mediante la doble sonda electrostática.

PALABRAS CLAVE:

Reactor plásmico, gases de hidrocarburos, doble sonda electrostática.

ABSTRACT

A versatile and not expensive, operating in r.f ranges (27,12 MHz) with until 150 W of power, plasma reactor has been developed for production of polymer films and surface materials treatment. By this device was achieved growth of polymeric films of butane, isobutane and ethylene. The plasma generated in the reactor is studied by electrostatic double probe.

KEYWORDS:

Plasma reactor, polymer films, hydrocarbon gases, electrostatic double probe.

1. INTRODUCCIÓN

Las descargas eléctricas a través de medios gaseosos han construido uno de los fenómenos físicos más ampliamente conocidos siendo de gran importancia por su variedad de aplicaciones en el campo tecnológico. En particular la descarga luminiscente (DL) generada a frecuencias de 2-60 MHz ofrece grandes ventajas, para su implementación en el amplio campo de la plasmquímica y del tratamiento de materiales en el laboratorio¹. Algunas de sus ventajas son la obtención de reacciones químicas a gran escala en el medio gaseoso utilizado, fácil manipulación, versatilidad y reducidos costos para su implementación. Los parámetros característicos de la descarga, como la temperatura electrónica (T_e) y la densidad (n), son características básicas a través de las cuales se pueden relacionar los procesos generados en el medio plásmico. El método de la doble sonda (DS) de Langmuir², es una solución sencilla que permite determinar los mencionados parámetros de la DL.

En este trabajo se proporciona la bibliografía básica del tema y se describe el montaje experimental de un reactor plásmico, mostrando los resultados obtenidos utilizando varios tipos de hidrocarburos gaseosos. También se ilustran las dificultades para aplicación del método de la DS como método de diagnóstico de este tipo de plasmas.

Generalidades de la DL

En la Figura 1 se muestra la relación corriente contra voltaje de una descarga eléctrica con electrodos a través de un medio gaseoso³⁻⁵. La región que comprende la DL es de gran importancia por la diversidad de aplicaciones tecnológicas como la deposición de películas, crecimiento de cristales, limpieza tratamiento superficial de materiales entre otros^{1,6,7}. La DL se obtiene fácilmente a bajas

presiones, proporcionando un plasma fuera del equilibrio cuyo grado de ionización es sostenido por la presencia de electrones energéticos⁸⁻¹¹. Los mecanismos para la producción de estos electrones energéticos varían del rango de corriente continua (CC) al de radio-frecuencia (r.f) y micro-ondas, siendo más efectivos en estas últimas^{2,12-17}.

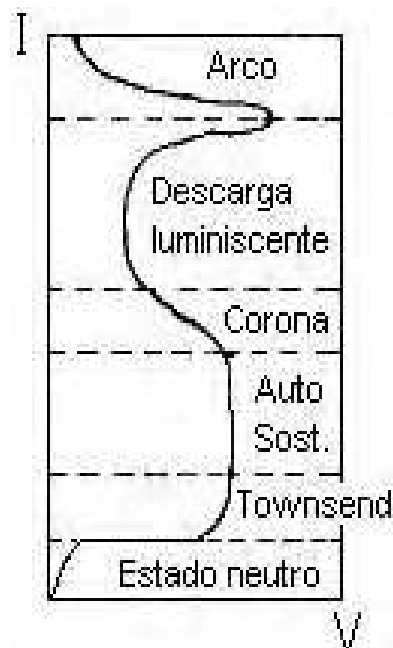


Figura 1-Relación corriente-voltaje de una descarga eléctrica a través de un medio gaseoso.

Diagnóstico mediante la DS

De la característica corriente voltaje, obtenida con la DS de Lagmuir^{2,12-17}, puede determinarse T_e y n característico de la descarga. Utilizando el método de la resistencia equivalente puede obtenerse en forma fácil el valor de kT_e de la descarga (k es la constante de Boltzman), para ello se recurre a la expresión establecida para la DS simétrica de la ecuación 1.

$$kT_e = (q \sum I_p R_o) / 4 \quad (1)$$

donde q es la carga del electrón, $\sum I_p$ es la

corriente total entre las dos regiones de saturación y R_p es el inverso de la pendiente de la característica I-V evaluada en el origen. La densidad del plasma se obtiene llevando el valor de kT_e a la expresión para la corriente de saturación iónica de una de las dos sondas(12,13).

El método de la DS es útil para la diagnosis de plasmas generado por r.f.(15) y plasmas que varían con el tiempo, minimizando la perturbación de los mismos durante la medida. La DS, además, es poco afectada por la presencia de campos magnéticos débiles(15-20).

2. REACTOR PLÁSMICO Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la Figura 2 se muestra el esquema del reactor plásmico utilizado para generar la DL de r.f. Consta de una campana de vidrio con electrodos internos (de forma cuadrada de

10 cm de lado) móviles a través de los cuales se acopla un campo magnético a la descarga para su confinamiento. El substrato, constituido por un disco de aluminio (de 15 cm de radio), diseñado para alojar pastillas de KBr en su interior las cuales permiten coleccionar muestras para ser analizadas por espectrometría de infrarojo, está acoplado a un mecanismo exterior el cual le transmite movimiento de rotación para así obtenerse un recubrimiento uniforme. El substrato está localizado en la parte media entre los electrodos. En la Figura también se muestra el circuito de acople de la fuente de r.f a los electrodos de la descarga y el circuito utilizado para la DS.

Inicialmente el reactor es evacuado hasta una presión de 5 mTorr y luego llenado con el monómero orgánico (butano, isobutano o etileno) hasta presiones dentro del rango de 50-500 mtorr. La presión es dependiente del flujo del gas y es controlada a través de la válvula V4. Las demás válvulas permanecen abiertas durante el desarrollo de la experiencia.

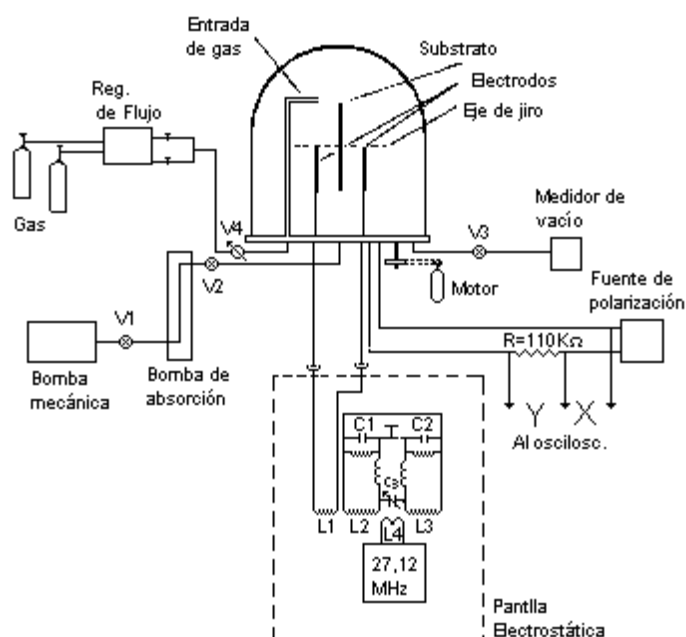


Figura 2-Reactor utilizado para generar la DL de r.f en medios gaseosos orgánicos.

La rata de flujo del gas es determinada suspendiendo la operación de bombeo (cerrando V2) y monitoreando la variación de la presión con el tiempo(21). Después de estabilizado el flujo del gas, se dio inicio a la DL la cual se mantuvo durante una hora a potencia constante (controlada con C3). Durante el tiempo de tratamiento, el sustrato permaneció girando a una velocidad baja y estable entre 60-100 cps.

Se fabricaron DS simétricas cilíndricas en fero-níquel(13). De varios diámetros (0,12, 0,18, 0,36 y 051 mm) y 10 mm de longitud. La doble sonda se colocó en la parte central de la descarga y su característica fue tomada manualmente punto a punto.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con el reactor descrito en la sección anterior se obtuvieron películas de polímero de etileno, butano e isobutano (estas dos últimas especies no son polimerizables por métodos tradicionales) y mediante la DS se obtuvo el

comportamiento general seguido por la característica I-V en este tipo de atmósferas. Las características físico-químicas del polímero depositado mediante la DL de r.f serán presentados en un trabajo posterior. En la Figura 3 se muestra el comportamiento general seguido por las características de la DS. La descarga fue realizada en butano a 50 mTorr de presión y una potencia de r.f de 81,9 W. Las regiones de saturación de la característica I-V no fueron tomadas debido a que la sonda no presentó respuesta en dichas regiones para este tipo de atmósfera.

Las características de la doble sonda, como se observa en la Figura 3, presentan una fuerte distorsión cerca del origen de coordenadas. Esta distorsión es debida a la contaminación de la DS por la deposición de polímero en su superficie y provoca un aumento de R_o (ver ecuación 1) por encima del valor. Así en este tipo de atmósfera obtendremos valores de la temperatura electrónica por encima del valor real de la descarga como fue estudiado por Shinji y Goro(23).

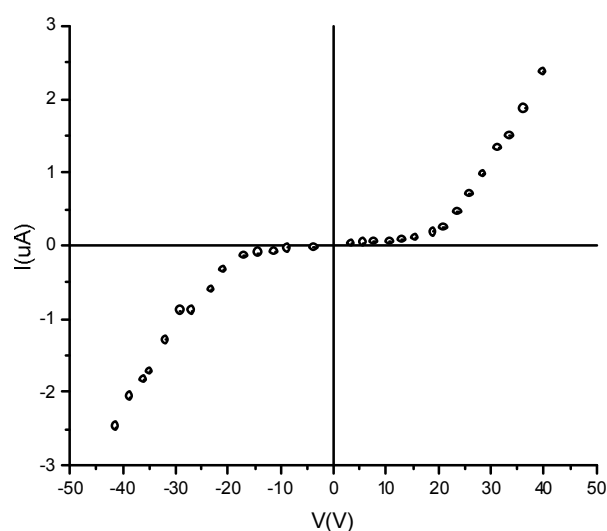


Figura 3-Comportamiento seguido por las características I-V tomadas con la DS en atmósferas favorables a la formación de polímero (butano a 50 mTorr de presión y 81,9 W de potencia).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Hollahan, J.R., Techniques and Applications of Plasma Chemistry, John Wiley, New York, 1974
- [2] Jhonson, E.O. and Malter, L.A., Phys Rev., 80, 58, 1950.
- [3] Howatson, A.M., An Introduction to Gas Discharge, Oxford, Pergamon Press, 1976.
- [4] Essam, N., Fundamental of Gaseous Ionization and Plasma Electronics, John Wiley, 1971.
- [5] Venugopalan, M., Basic Processes in Glow Discharge Plasmas, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, V. B23, p. 405-417, 1987.
- [6] Veprek, S. IEEE Transact., Plasma Sci., PS-2(1), 25, 1974.
- [7] Maissel, L.I. and Gland. R., Handbook of thin Film technology, Mc. Graw Hill, New York, 1970.
- [8] Köhler, K., et al., J. Appl. Phys., 57, 59, 1985.
- [9] Köhler, K., Coburn, J. W., Horne, D. E., Kay, E. and Keller, J. E., J. Appl. Phys. 57, 59 1985.
- [10] Marshal Dhayal and James W. Bradley, Time-resolved electric probe measurements in the pulsed-plasma polymerisation of acrylic acid, Surface and Coatings Technology, Volume 194, Issue 1, Pages 167-174, 20 April 2005.
- [11] Timmins, R. S. and Ammann, P. R. in R. F Baddour and R. S. TIMMINS (eds), The Application of Plasmas to Chemical Processing, Pergamon Press, New York, 1967, Chap. 7
- [12] Chapman, B., Glow Discharge Processes, John Wiley and Sons, New York, 1980.
- [13] Hutchinson, I.H., Principles of Plasma Diagnostics, Cambridge University, Second Edition, 2002.
- [14] Richter, F., Welzel, Th., Dunger Th. and Kupfer, H., Time-resolved characterisation of pulsed magnetron discharges using Langmuir probes, Surface and Coatings Technology, Volumes 188-189, Pages 384-391, November-December 2004.
- [15] Strauss, G. N. and Pulker, H. K., Plasma diagnostic of ion and plasma PVD processes, Thin Solid Films, Volume 442, Issues 1-2, Pages 66-73, 1 October 2003.
- [16] Chang-jun Liu, Jia-xin Wang, Kai-lu Yu, Baldur Eliasson, Qing Xia, Bingzhang Xue and Yu-hang Zhang, Floating double probe characteristics of non-thermal plasmas in the presence of zeolite , Journal of Electrostatics, Volume 54, Issue 2, Pages 149-158 February 2002.
- [17] Welzel, Th., Dunger, Th., St. H. Kupfer Welzel, and Richter, F., Studies of the temporal behaviour of a pulsed magnetron deposition, Surface and Coatings Technology, In Press, 23 February 2005.
- [18] Veprek, S., Plasma-Induced Plasma -Assisted Chemical Vapour Deposition, Thin Solid Films, V. 130, p. 135-154, 1985.
- [19] Aumann, T., Theirich, D. and J. Engemann, Rapid surface modification of polyethylene in microwave and r.f.-plasmas: comparative study , Surface and Coatings Technology, Volumes 142-144, Pages 169-174, July 2001.
- [20] Yasuda, H., Macromol. Rev. 16, 199, 1981.
- [21] Yasuda, H., Plasma Polymerization, Academic Press, New York, 1985.
- [23] Shinji, Y., Goro, S. and Masayuky, L. J., Appl. Phys., 48, 2363, 1977