
Análisis Espectroscópico De Un Plasma De Aluminio En Atmósfera De Nitrógeno Producido Por Láser Pulsado

K. L. Salcedo^{1,2,♦}, C.A. Rodríguez.^{1,2}, W.S. Román^{1,2}. H. Riascos²

¹ *Ingeniería Física, Universidad Tecnológica de Pereira, A. A.097 Pereira, Colombia.*

² *Grupo plasma, láser y aplicaciones Departamento de Física, Universidad Tecnológica de Pereira, A. A.097 Pereira, Colombia.*

RESUMEN

Se realizó el estudio del plasma de aluminio producido por láser pulsado Nd:YAG, con longitud de onda 1064 nm, con una energía por pulso de 500 mJ y 9 ns de duración, a una tasa de repetición de 10 Hz. El láser incidió en un blanco sólido de aluminio (con una pureza de 99,9%) en una atmosfera de gas de nitrógeno. El Plasma fue generado a Temperatura ambiente, la presión del gas de trabajo se varió en el rango de 3 a 11 mTorr, con una fluencia del láser constante de 8 J/cm². El plasma producido a diferentes presiones fue analizado mediante Espectroscopia de Emisión Óptica. Los espectros de emisión obtenidos permitieron observar las especies iónicas y/o atómicas predominantes en el plasma, y mediante la distribución de Boltzmann usando las intensidades relativas de especies iónicas se calculó la temperatura electrónica del plasma.

Palabras clave: Espectroscopia de Emisión Óptica, Temperatura Electrónica, Deposición por Láser Pulsado.

ABSTRACT

In this work we study the Aluminum plasma produced by Nd:YAG pulsed laser, (1064 nm, 500 mJ, 9ns) with repetition rate of 10 Hz. The laser hitting on Al target (99.9%) in nitrogen gas atmosphere. The plasma was generated at room temperature, the pressure was varied in the range of 3 a 11 mTorr with a laser fluence of 8 J/cm². The plasma generated was at different pressures was characterized by Optical Emission Spectroscopy. From emission spectra obtained ionic and atomic species were observed. With Boltzmann plot from relative intensities of spectral lines the electronic temperature was calculated.

Keywords: Optical Emission spectroscopy, Electronic temperature, Pulsed Laser Deposition.

1. INTRODUCCIÓN

Los plasmas generados por láser pulsado tienen un sin número de aplicaciones entre las que se destaca la síntesis de películas delgadas de diferentes materiales. Se cree que la dinámica de la pluma de ablación y el comportamiento de las especies presentes en él afectan fuertemente el proceso de deposición, y en consecuencia, las propiedades de las películas depositadas. Cuando la deposición es en un ambiente reactivo, las reacciones químicas de las especies ablacionadas con las especies reactivas juegan un papel crucial en la deposición de la película. Por lo tanto, las características de la pluma producida por la ablación del láser pulsado y la comprensión de los procesos que intervienen en la deposición de la película son de gran interés. Existen varias técnicas para caracterizar la pluma de ablación, la utilización de estas técnicas dependen en mucho de la manera en que se genera la pluma [1], las más utilizadas son la técnicas ópticas, como por ejemplo la Espectroscopia de Emisión Óptica (OES).

La OES es una herramienta ampliamente utilizada debido a los beneficios que presta en cuanto al estudio de parámetros del plasma [2], permitiendo el estudio del comportamiento químico de la materia que tiene lugar en la fase gaseosa y en estado ionizado. La ventaja más importante de la espectroscopia de emisión óptica radica en que es un método no invasivo y por tanto no altera las características reales del plasma; un aspecto que se debe tener en cuenta al utilizar la OES es la aproximación a condiciones de equilibrio termodinámico local (LTE).

En este trabajo utilizamos OES para identificar las especies constituyentes del plasma de Aluminio generado por un láser Nd:YAG, en una longitud de onda en el infrarrojo, con un ancho de pulso de 9 ns y una energía por pulso de 500 mJ.

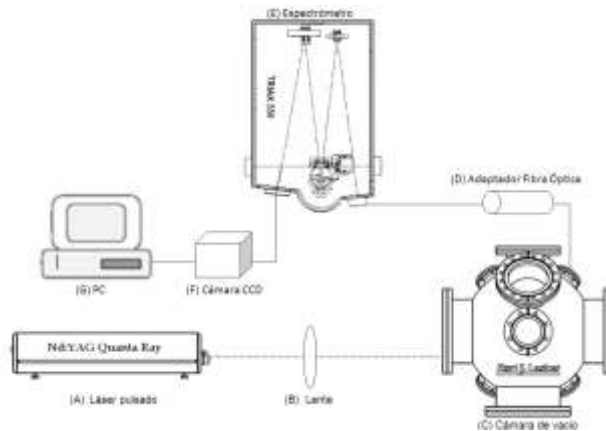


Figura 1. Montaje experimental para obtener los espectros del plasma de aluminio.

Estos plasmas generalmente se encuentran en no equilibrio por lo que para calcular la temperatura electrónica, asumimos que el plasma se encuentra en Equilibrio Termodinámico Local y mediante el método de la distribución de Boltzmann para las intensidades relativas de las líneas de emisión calculamos la temperatura electrónica de la pluma a una presión del gas de nitrógeno de 5 mTorr.

2. MONTAJE EXPERIMENTAL

El montaje experimental utilizado para la generación del plasma de aluminio esquematizado en la Fig. 1. consta de un láser pulsado Nd:YAG (Spectra Physics serie INDI 30), con una longitud de onda de 1064 nm, una energía por pulso de 500 mJ y una duración del pulso de 9 ns, el plasma fue generado a una tasa de repetición del láser de 10Hz y a una fluencia constante de 8 J/cm^2 . Mediante una lente de vidrio de distancia focal 24,5 cm, el láser se enfocó sobre el blanco. El proceso de ablación se llevo a cabo en una cámara de vacío esférica de acero inoxidable de 30.48 cm de diámetro con doce puertos, cada uno de ellos con una utilización diferente, en uno de ellos se encuentra instalado el porta blancos, por otro puerto incide el láser, en uno de los puertos laterales se encuentra el sistema de gases, otro se utiliza para medir la emisión del plasma, en otro están instalados los medidores de vacío y, finalmente en un último puerto se encuentra un horno resistivo y la bomba turbo molecular ATP 150, la cual tiene una velocidad de evacuación de 200 l/s.

La pluma se genera al hacer incidir el láser Nd:YAG por uno de los puertos con un ángulo de incidencia de 45° respecto a la normal del blanco, la detección de la emisión de la radiación del plasma se realizó por medio de una fibra óptica, la cual lleva la radiación al espectrómetro

Para la caracterización del plasma se usó un espectrómetro Jobin Yvon modelo Triax 550 de 0.55m, f/6.4 equipado con dos rejillas de 12001/mm y 1501/mm respectivamente, acoplado a una cámara CCD modelo 3000 multicanal enfriada con aire y de 512×512 pixeles

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Caracterización del Plasma de Aluminio

Al incidir el haz del láser en una atmosfera de nitrógeno sobre la superficie del blanco de aluminio a un ángulo de aproximadamente 45° con respecto a la normal de la superficie y con una fluencia de 8 J/cm^2 se genera una pluma de plasma de color rosado de una longitud aproximada de 3 cm. Se tomaron los espectros de emisión en el rango 400 a 800 nm para varias presiones del gas de nitrógeno.

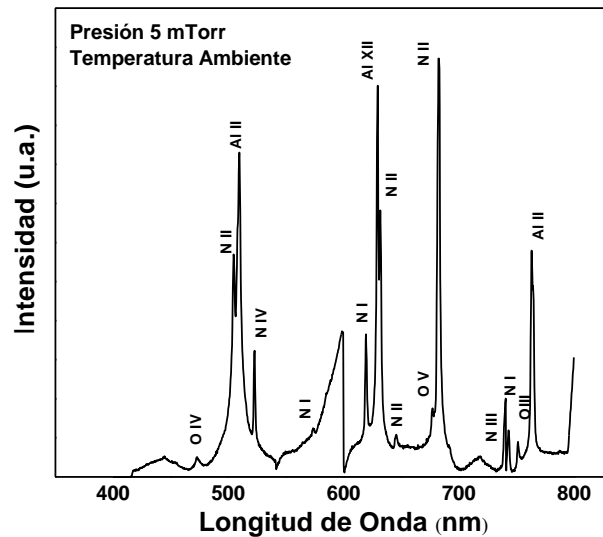


Figura 2. Espectro de plasma de Aluminio en presión de trabajo de Nitrógeno tomado a una Presión de 5 mTorr en un barrido de 400 nm a 800 nm

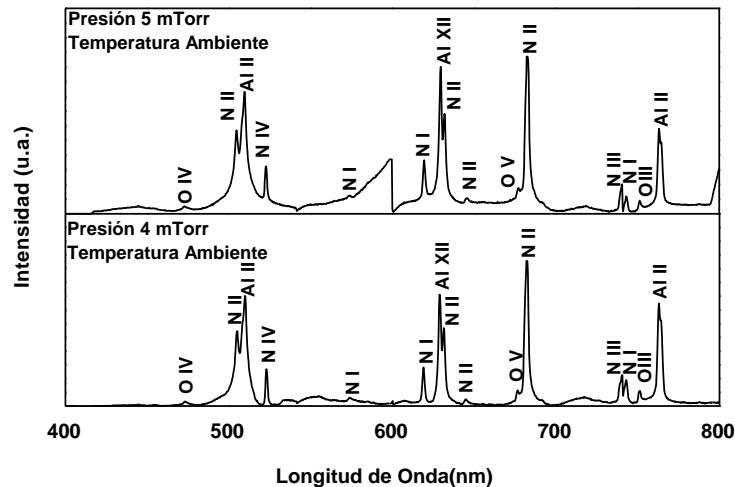


Figura 3. Espectros de plasma de Aluminio a presiones de 4 y 5 mTorr en un barrido de 400 a 800 nm.

En la Figura 2 se muestra las líneas de emisión en el rango de 400-800 nm del plasma de aluminio tomado a una presión de 5 mTorr, se observa que la mayoría de las líneas de emisión corresponde nitrógeno atómico iónico y excitado, son pocas las líneas espectrales de Al y algunas de átomos de oxígeno neutro e iónico. La presencia relativamente alta de las especies de nitrógeno en el plasma obedece posiblemente a que el Aluminio es un metal altamente reflectivo y por lo tanto la radiación del láser es absorbida en una mayor proporción por las moléculas de nitrógeno, este proceso es reforzado por las múltiples colisiones que suceden entre las diferentes especies. La presencia de algunas líneas de oxígeno es debido al proceso de oxidación sufrido por el blanco antes de ser introducido en la cámara de ablación.

En la Fig. 3 se muestran los espectros del plasma de Al para las presiones de 4 mTorr y 5 mTorr. La estructura general de los espectros es la misma, la diferencia entre uno y otro es la intensidad de las diferentes líneas de emisión, sin

embargo, no se encuentra una diferencia marcada entre las diferentes intensidades de las líneas, esto es debido a que la diferencia de presión ambiente es muy pequeña.

3.2 Calculo de la Temperatura Electrónica del Plasma de Aluminio.

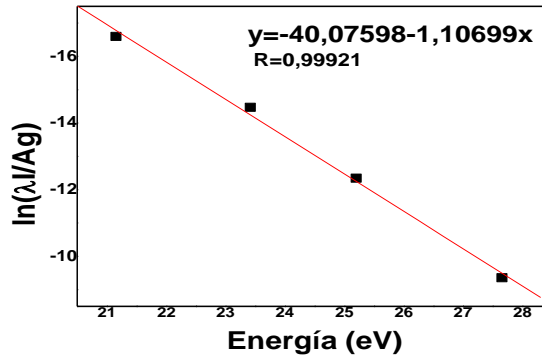


Figura 4. Gráfico de Boltzmann para la determinación de la temperatura electrónica del NII

Para el cálculo de la temperatura electrónica del plasma de aluminio en atmosfera de trabajo de Nitrógeno utilizando EOS y por medio de la distribución de Boltzmann [3], se tuvo en cuenta la validez de la aproximación de LTE entre los estados ligados de las especies que radian, en consecuencia fue posible determinar la temperatura electrónica del plasma por medio de la siguiente ecuación [4]:

$$\ln\left(\frac{I_{mn}\lambda_{mn}}{A_{mn}g_{mn}}\right) = \ln\left(\frac{N}{Z}\right) - \left(\frac{E_m}{kT_e}\right), \quad (1)$$

donde λ_{mn} es la longitud de onda de transición entre los estados m (estado inferior) y n (estado superior), I_{mn} la intensidad de la línea de la transición observada, A_{mn} la probabilidad, E_m la energía del nivel superior, k la Constante de Boltzmann, N el numero total de estados, z la función de partición y T_e la temperatura electrónica .

De la pendiente $-\left(\frac{1}{kT_e}\right)$ del grafico de la Figura 3, $\ln\left(\frac{I_{mn}\lambda_{mn}}{A_{mn}g_{mn}}\right)$ contra E_m se obtiene la temperatura. Para realizar la aproximación de la temperatura electrónica del plasma se escogieron las líneas espectrales de NII mostradas en la Fig. 2, las cuales corresponden a los datos de la Tabla 1 Presentada a continuación:

Tabla 1. Datos de las líneas espectrales del NII observadas a una presión de 5 mTorr a temperatura ambiente.

λ NIST (nm)	λ Experimental (nm)	Intensidad (u.a.)	A (nm)	g_n	E_n (eV)	Grado de Ionización
504.6538	504.587	28475.620	5.55E10	3	27.657032	N II
631.880	631.902	34128.285	9.90E11	5	25.2009	N II
645.768	645.750	5407.132	1.88E13	3	645.768	N II
682.623	682.531	53530.631	1.40E13	5	23.415328	N II

Realizando el calculo respectivo de la temperatura electrónica por medio de la ecuación (1) se obtiene una temperatura de 10487.0 K equivalente a 0.90 eV

4. CONCLUSIONES

Por medio de la caracterización del plasma de aluminio, se observan sus propiedades reflectivas al presentarse una emisión mayoritaria de nitrógeno, observando como la variación de la presión afecta solo en pequeña medida la intensidad de las líneas espectrales emitidas. El valor de la temperatura electrónica obtenida en el plasma de aluminio está de acuerdo con otros trabajos previos sobre el plasma producido por láser pulsado, entre otros.[3,5].

REFERENCIAS

1. H. Riascos, L. M. Franco and J. A. Pérez, *Optical spectroscopy of emission from CN plasma formed by laser ablation*, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia, PHYSICA SCRIPTA, doi:10.1088/0031-8949/T130/1/00000 (Aceptado)
2. Elisabeth Restrepo, Alfonso Devia, *Caracterización de Materiales Utilizando la Espectroscopía Óptica de Emisión*, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA, VOL. 34, No. 2. 2002
3. H. Riascos, G. Zambrano, P. Prieto, *Spectroscopic Analysis of a Pulsed- Laser Deposition System For Fullerene. Like C_n Film Productio*, Plasma Chem Plasma Process DOI 10.1007/s1 1090-006-9010-x
4. Darío A. Castro, Oleg G. Vásquez A, *Termodinámica del Plasma*, Universidad del Norte, Ingeniería & Desarrollo. 2: 23-27, 1997.
5. H. Jimenez Forero, C. Molina González, E. Restrepo Parra, Alfonso Devia Cubillos, Univeridad Nacional de Colombia Sede Manizales, Scientia et Tecnica Año X, No26, Diciembre 2004