

DETECCIÓN ACÚSTICA DE UMBRALES DE CAMBIO DE FASE EN METALES IRRADIADOS CON PULSOS LÁSER DE ALTA POTENCIA

M. Mesaros, J. Etcheverry, M. Marconi,* O. Martinez,*

Laboratorio de Electrónica Cuántica, Departamento de Física,
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.

G. Bilmes,** J. O. Tocho†

Centro de Investigaciones Ópticas,(CIOP)-CONICET-
Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, CC. 124, (1900) La Plata.

Se implementaron técnicas fotoacústicas para detectar umbrales de cambio de fase en muestras metálicas (Al comercial) sometidas a la acción de un láser de Nd:YAG (1064 nm) operado por pulsos de ~ 20 ns FWHM (50 mJ/pulso). Se midió la señal acústica generada por el pulso mediante un piezoeléctrico acoplado directamente a la parte trasera de la muestra, obteniéndose evidencia de la vaporización del material y de la formación de plasma en la superficie, para fluencias del láser del orden de 1.2 J/cm², y 1.7 J/cm² respectivamente.

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la utilización de métodos de detección acústica en el análisis de superficies, interfaces y procesos en la vecindad de superficies ha permitido el desarrollo de nuevas técnicas de caracterización en tiempo real, no invasivas, simples y rápidas¹. Las técnicas fotoacústicas, que emplean una combinación de láseres pulsados como fuente de excitación y detectores piezoeléctricos para la detección, se caracterizan por su alta sensibilidad y sencilla implementación.

Por otro lado, la ablación de materiales por láser ha cobrado considerable importancia en diversas ramas de la ciencia y la tecnología, particularmente en el procesamiento de materiales, en cirugía, litografía y en la industria microelectrónica.

El tratamiento de superficies de aluminio con láser ha merecido especial atención por la posibilidad de utilizar este metal en dispositivos y sistemas, en reemplazo de otros metales tradicionales como Au, Ag, Cu⁴⁻⁵.

En este trabajo se presenta un método para la caracterización de procesos de interacción *radiación láser-superficie en metales*, utilizando detección fotoacústica pulsada. Los resultados obtenidos para Al muestran que esta técnica permite identificar la energía umbral a la que tienen lugar diversos procesos.

II. TRABAJO EXPERIMENTAL

El diagrama experimental se muestra en la Fig. 1. La emisión de un láser de Nd:YAG (1064 nm) pulsado de 20 ns de duración, y energía por pulso entre 0 y 300 mJ, es enfocada sobre la muestra (montada sobre un posicionador) por medio de una

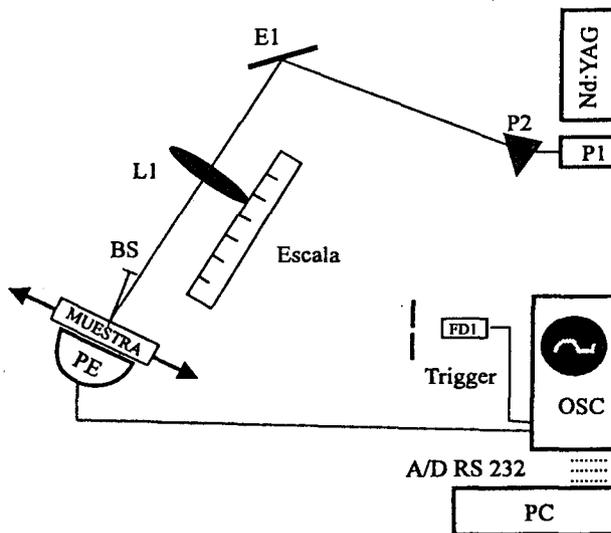


Fig. 1: Diagrama experimental. P1: prismas de ángulo recto; P2: prisma; E1: espejo para infrarrojo; L1: lente $f = 25$ cm; BS: beam-stop; PE: detector piezoeléctrico; FD2: fotodiodo rápido.

* Investigador del CONICET

** Investigador de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

† Investigador CONICET-Universidad Nacional de La Plata

lente (L1) de 25 cm de distancia focal que puede deslizarse sobre una escala graduada. La variación de la distancia lente-muestra, desde 2 cm hasta 25 cm, permite trabajar con fluencias en el rango de .1 J/cm²-10 J/cm².

Un transductor cerámico piezoeléctrico (PE) pegado en la cara opuesta a la región de incidencia del láser detecta las señales acústicas generadas por los diversos procesos que tienen lugar en la región de interacción láser-superficie. Las señales obtenidas son registradas en un osciloscopio digital LeCroy 9400 de 100 MHz de ancho de banda, y enviadas a una PC para su procesamiento. La señal de trigger se obtiene mediante un fotodiodo rápido (~5 ns de rise-time) que capta una reflexión difusa del pulso (FD2).

En este trabajo se utilizaron dos tipos de detectores, caracterizados por frecuencias de resonancia de 20 KHz (PE1) y 300 KHz (PE2) respectivamente, con el objeto de comparar la sensibilidad y las características de la respuesta de los mismos.

En los experimentos realizados se emplearon distintas muestras de aluminio comercial, sin pulir, o pulidas mecánicamente (lijas hasta 1200 y alúmina tipo F).

Las fluencias empleadas se estimaron midiendo la energía del pulso con un detector piroeléctrico GENTEC y calibrando el área de la zona iluminada por el láser, en función de la posición de la lente sobre la escala. El error en la determinación de la fluencia es del orden del 15%.

III. RESULTADOS

Cuando el pulso del láser incide sobre la superficie del metal, diversos procesos pueden tener lugar a medida que se aumenta la fluencia incidente. La secuencia principal involucra: expansión térmica debida al calentamiento de la muestra, fusión local, evaporación de material de la superficie y generación de plasma.

Las Figs. 2 y 3 muestran las señales acústicas obtenidas para tres diferentes fluencias y sus respectivos espectros de Fourier, con el detector PE2, y para una muestra de Al sin pulir de 3.74 mm de espesor.

Se observa que el tiempo de tránsito de la señal acústica es de 852 ± 10 ns, lo que da una estimación para la velocidad del sonido en el aluminio $v = 4390 \pm 50$ m/seg en buen acuerdo con el valor de tabla.

A bajas fluencias la generación de ondas acústicas es producida por la expansión térmica debida a la absorción de fotones por la superficie y el posterior enfriamiento, lo que genera una onda acústica bipolar⁶⁻⁸.

A medida que se aumenta la fluencia comienza a observarse una estructura de picos, que estaría relacionada con la respuesta del detector a los diversos procesos originados a partir de la ablación de la superficie.

Con el objeto de caracterizar estos procesos, se midió el máximo de amplitud del primer pico

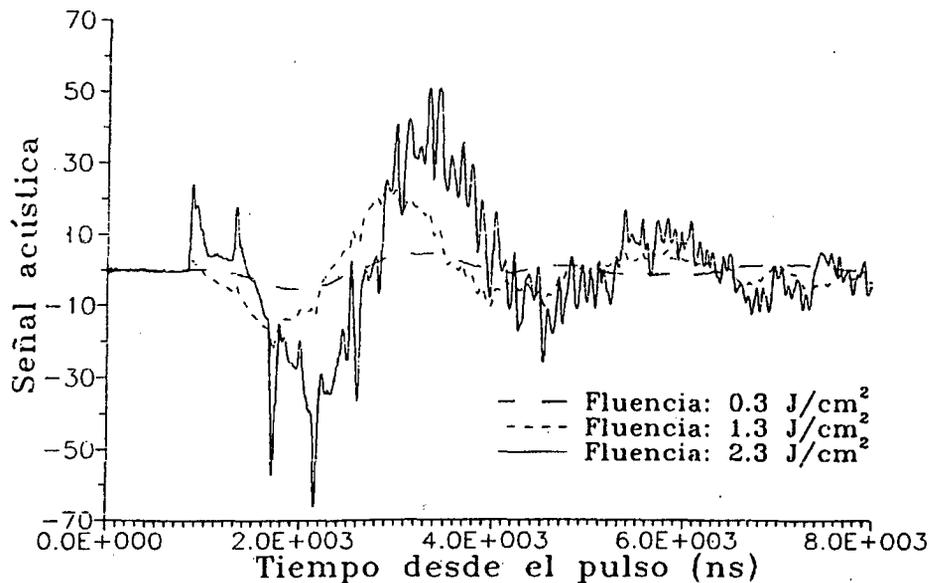


Fig. 2: Perfiles típicos de señales acústicas obtenidas con el detector PE2 para aluminio sin pulir para distintas fluencias.

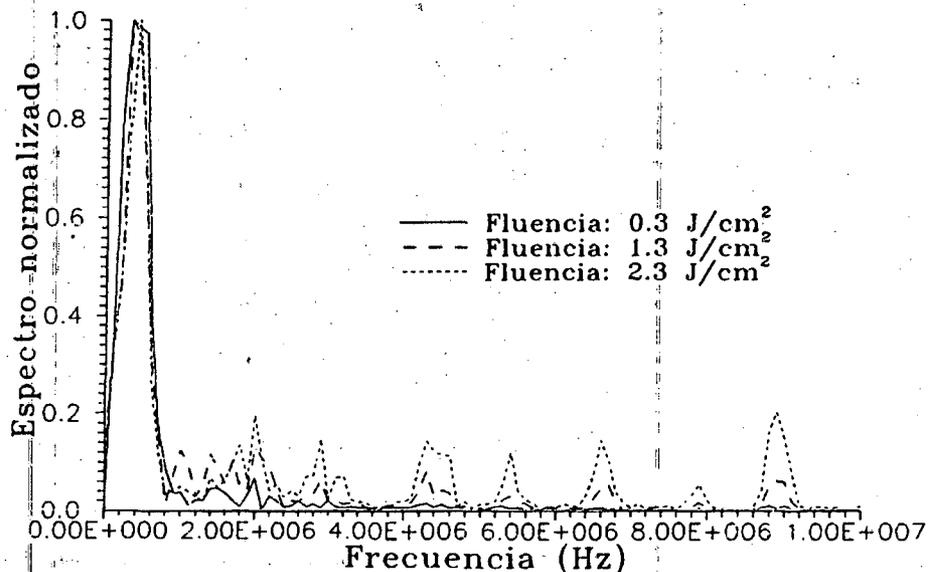


Fig. 3: Descomposición normalizada de Fourier de las señales acústicas de la Fig. 2.

positivo (Fig. 4), y la máxima amplitud de la señal acústica total (Fig. 5), en función de la fluencia, para aluminio rugoso (detector PE2) y pulido (detector PE1). Como se trabajó a energía del pulso de Nd:YAG constante, la señal provocada por procesos termoelásticos debe ser aproximadamente constante en ausencia de mecanismos adicionales que contribuyan a la generación de la onda acústica.

Las Figs. 4 y 5 muestran que por debajo de 1.2 J/cm² la respuesta de los detectores es aproximadamente constante (la región lineal en la Fig. 4 para el detector PE2 y fluencias menores que .5 J/cm² es debida a la influencia del tamaño finito del detector), pudiéndose asociar las señales generadas a un proceso de expansión térmica. Entre 1.2 J/cm²-2.5 J/cm² se observa un rápido crecimiento de la señal.

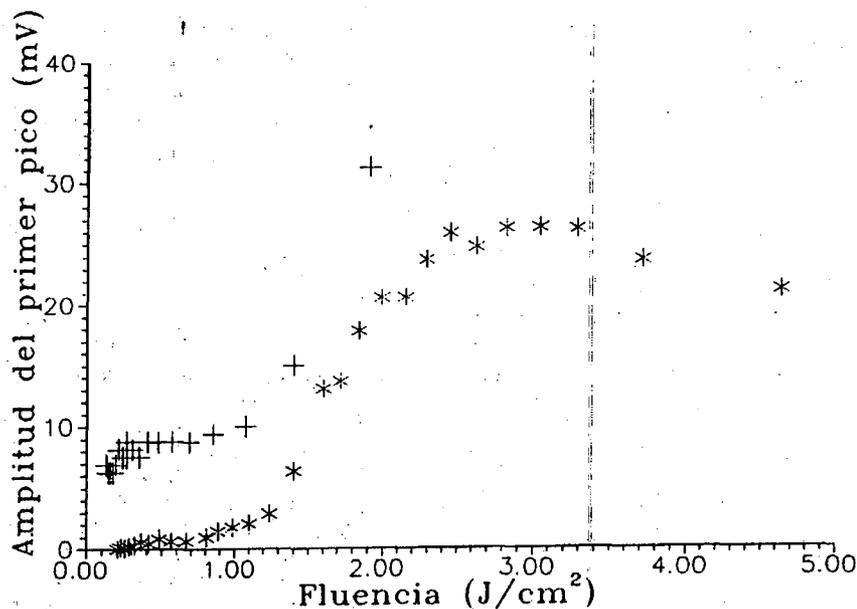


Fig. 4: Máxima amplitud del primer pico positivo de las señales acústicas; * aluminio sin pulir, detector PE2; + aluminio pulido, detector PE1.

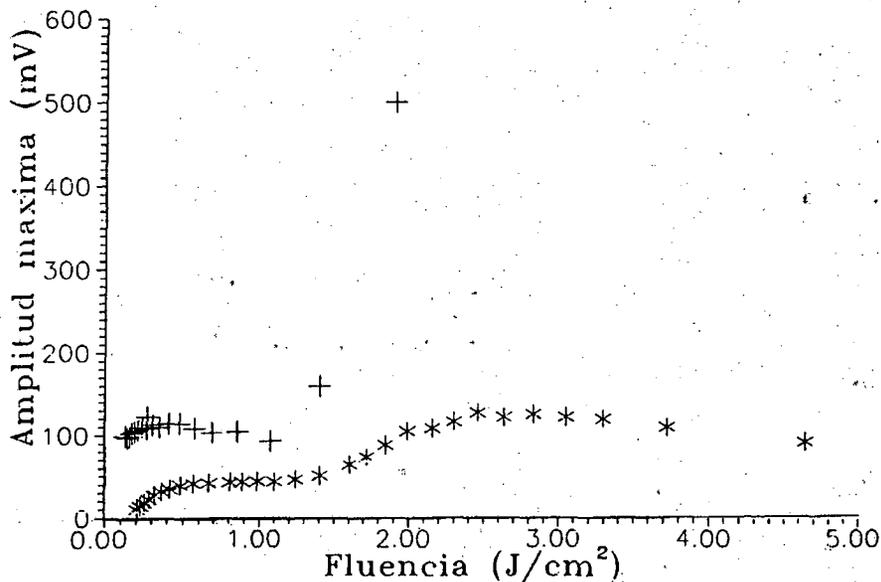


Fig. 5: Amplitud máxima de las señales acústicas; * aluminio sin pulir, detector PE2; + aluminio pulido, detector PE1.

El punto de inflexión se encuentra en alrededor de 1.7 J/cm^2 .

Como se ha mencionado el cambio en la forma de la señal acústica y la aparición de picos a fluencias mayores que 1.2 J/cm^2 podría deberse a la presencia de otros mecanismos de generación. En particular, una intensa vaporización superficial puede dar lugar a una compresión del material debida al impulso de los átomos de Al que se desprenden de la superficie con velocidades promedio del orden de los $5 \cdot 10^5 \text{ cm/seg}^4$.

Por otro lado, un registro visual de la superficie mostró que a fluencias de 1.7 J/cm^2 , donde la respuesta acústica presenta un punto de inflexión, aparece un brillo azul intenso característico de la formación y posterior decaimiento de plasma. La presencia de este plasma produciría un apantallamiento del haz incidente que da lugar a una pérdida de la eficiencia de la interacción del láser con el material, y por lo tanto a una disminución de la señal acústica.

IV. CONCLUSIONES

La técnica desarrollada permite identificar los umbrales de vaporización y formación de plasma, los cuales coinciden con los obtenidos por otro tipo de métodos⁷.

No se observan diferencias significativas entre

las fluencias umbral obtenidas para aluminio pulido y sin pulir. Suponiendo que la primera parte del pulso funde la superficie, las diferencias en el pulido de la misma serían irrelevantes una vez comenzada la vaporización.

El valor para la fluencia umbral de vaporización (1.7 J/cm^2) que surge de resultados numéricos⁸ es un 30% mayor que el obtenido en este trabajo ($\sim 1.2 \text{ J/cm}^2$). Las diferencias pueden deberse, entre otros aspectos, a que el aluminio utilizado no es puro, y a que la forma de modelar la variación de la reflectividad con la temperatura influye críticamente en los valores obtenidos para los umbrales (datos de literatura asignan al aluminio reflectividades entre 0.65 y 0.9).

REFERENCIAS

1. Photoacoustic, Photothermal and Photochemical Process at Surfaces and in Thin Films. Ed. dP. Hess. Springer Verlag. (1989).
2. E. Sutcliffe, R. Srinivasan. J. Appl. Phys. **60**, (9) (1986).
3. P. E. Dyer, and R. Srinivasan. Appl. Phys. **48**, (6) (1986).
4. Hongxin Wang, A. P. Salzberg, B. R. Weiner. Appl. Phys. Lett. **59**, (8) (1991).
5. J. Anthes, M. Palmer, M. Gusinow, M. Matzen. Appl. Phys. Lett. **34**, (12) (1979).
6. A. P. Ghosh, J. E. Hurst. J. Appl. Phys. **64**, (1). (1988)
7. J. Etcheverry, M. Mesaros, M. Marconi, O. Martínez. Para publicar Anales AFA (1993).
8. J. Etcheverry. Simulaciones numéricas. Para publicar. Anales AFA (1993).