

SISTEMA SIMPLE DE DETECCIÓN OPTOACÚSTICA RESONANTE BASADO EN UNA PLACA DE SONIDO DE PC

G. Santiago¹, A. Peuriot², V. Slezak²

(1) Laboratorio Láser, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires
Paseo Colón 850 (1063), Ciudad de Buenos Aires, Argentina

(2) Centro de Investigaciones en Láseres y Aplicaciones (CITEFA-CONICET)
San Juan Bautista de La Salle 4397 (1603), Villa Martelli, Buenos Aires, Argentina
gsantia@fi.uba.ar

Se presenta un método alternativo de detección de señales optoacústicas que reemplaza a un amplificador lock-in. A tal fin se recurre a un preamplificador de bajo ruido y a una placa de sonido de PC que digitaliza la señal, la cual es analizada en el dominio de la frecuencia y promediada. El sistema automatizado releva la forma del pico de resonancia variando la frecuencia de modulación por medio de un interruptor mecánico del haz. Se estudió el límite de detección de trazas de NO₂ en aire a una atmósfera excitadas con un láser de argón multilinea.

A totally PC-based device is developed for replacement of synchronous detection of optoacoustic signals by a lock-in amplifier. The signal enters into the PC audio port through a low noise preamplifier and, afterwards, it is analysed in the frequency domain and averaged. The resonance peak is scanned automatically as the laser repetition rate is varied by changing by steps the chopping frequency of the beam. The detection limit for traces of NO₂ in air at atmospheric pressure is measured with excitation by a multi-line Argon laser.

Introducción

La contaminación atmosférica en ciudades debida a los gases que emanan de los escapes de los autos ha dado lugar al desarrollo de sistemas portátiles que permiten monitorear distintos componentes de la emisión. En particular, el control de la cantidad de NO₂ resulta importante debido a su toxicidad aún en bajas concentraciones y a su influencia sobre la presencia de ozono troposférico. Como esta molécula presenta bandas de absorción intensas en el rango visible, a diferencia de las otras especies contaminantes atmosféricas, la aplicación de técnicas ópticas resultan interesantes para su detección en forma selectiva. En particular, una de las más interesantes por su sencillez, selectividad y sensibilidad es la técnica optoacústica (OA).¹ En nuestro laboratorio se han ensayado distintos esquemas de detección de NO₂ en base a láseres pulsados y continuos con resultados promisorios. Uno de ellos se realizó con láseres pulsados de colorantes (440-470 nm) y de Nd:YAG (532 nm).² En estos casos el sistema es balístico (no resonante) y la señal se analiza en el espacio de las frecuencias pulso a pulso. Otro esquema consistió en la excitación resonante de un modo de la cavidad acústica por medio de un láser continuo modulado mecánicamente³ o pulsado por Q-switch acusto-óptico con alta repetición variable.⁴ En ambos láseres se generaba radiación en la segunda armónica (532 nm) de la frecuencia fundamental dentro de la cavidad. La detección se realizó en forma sincrónica con un amplificador lock-in para promediar y extraer la señal del ruido.

En este trabajo, con el propósito de abaratar costos y disponer de un equipo de medición OA sencillo y compacto, se presenta un esquema resonante donde la

adquisición y procesamiento de señal se realiza simplemente con una PC, donde la señal es adquirida directamente a través de la placa de sonido. Se muestran los resultados obtenidos a partir de mezclas conocidas de NO₂ en aire a presión atmosférica y se analiza el límite de detección del sistema.

Experimento

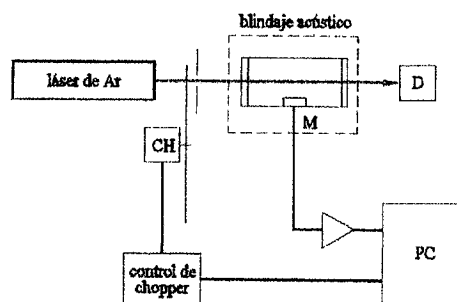


Figura 1. Dispositivo experimental. M: micrófono, CH: obturador mecánico, D: medidor de potencia.

El esquema experimental (Fig. 1) está basado en un láser continuo de Argón (American Laser Corp.) multilinea de 100 mW de potencia de salida cuyo haz es modulado mediante un obturador mecánico (Thor Labs) de velocidad variable hasta 6 kHz. La potencia del láser, integrada sobre todas sus líneas de emisión, es monitoreada a lo largo de todo el experimento para normalización de la señal (detector Newport Mod. 818-SL). La estabilidad en potencia resulta mejor que el 10%. La celda OA cilíndrica de vidrio posee un modo de resonancia (primer modo radial) entre 5650 y 5700 Hz a temperatura ambiente para mezclas de NO₂ en aire puro a presión atmosférica. Un micrófono electrete

(Knowles EK3132) se encuentra adherido a la pared de la celda. Se obtienen señales OA variando la modulación del láser alrededor de la frecuencia de resonancia del modo (100) en pasos de 1Hz para definir con precisión el máximo, cuya posición en frecuencia fluctúa aún ante pequeños cambios de temperatura. La señal amplificada se adquiere a través de la placa de sonido de una PC con una velocidad de muestreo de 44100 muestras por segundo. La adquisición para cada frecuencia se realiza durante 1 seg y se repite varias veces en muestras de baja presión para promediar y mejorar la relación señal/ruido. Las sucesivas señales se analizan en el espacio de las frecuencias aplicando el procesamiento de FFT de alta resolución⁵ para obtener una correcta definición de la amplitud máxima en cada frecuencia. En efecto, el espaciado en frecuencias que se obtendría por aplicación de la FFT, que es de 1Hz, no bastaría para definir la transformada de Fourier de una función armónica truncada dentro de una ventana (T) de 1 seg, ya que el ancho en la base es de 2 Hz ($\Delta\omega = 4\pi/T$).

En el laboratorio se fabricaron mezclas en distintas proporciones a partir de NO₂ (Liquid Carbonic 99,5 %) y aire cromatográfico (L'Air Liquide 99,5 %) para realizar la calibración y caracterización del sistema.

Típicamente, para mezclas de algunas ppm, la señal se adquiere durante un segundo y se repite la adquisición tres veces. En el caso de la determinación del límite de detección, dado por la medición en muestras de aire puro, se promedian diez mediciones.

Para estudiar las ventajas y limitaciones de este sistema simple de adquisición se compararon los resultados con los que se obtienen con el sistema de detección sincrónica utilizado anteriormente.^{3,4} Para ello se implementaron programas que permitieran el comando de ambos sistemas y la adquisición de señales desde una única muestra.

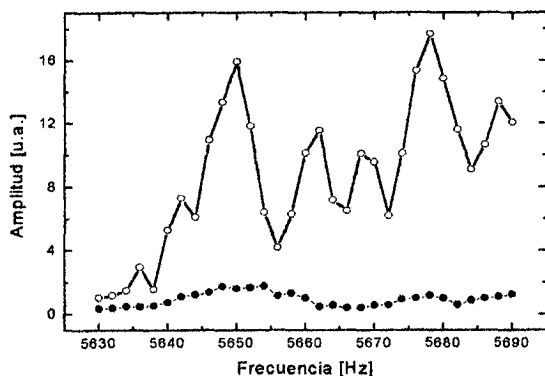


Figura 2. Atenuación de la señal por el blindaje acústico para una muestra de aire a presión atmosférica sin irradiar.

En el caso de bajas señales, para reducir el ruido proveniente del obturador mecánico y de la refrigeración del láser se utilizó una cámara de aislación acústica que fue descrita en la ref.6.

En la Fig.2 se puede observar la efectividad de la misma. Se verificó que la señal proveniente del ruido externo es atenuada al 10% con respecto a la medición

sin blindaje, por lo cual es fundamental su utilización para mejorar el límite de detección.

Resultados

En la Fig.3 se muestra el pico de resonancia del modo (100) que se obtiene con el esquema de adquisición de señales basado en la placa de sonido y a la vez con detección sincrónica con un amplificador lock-in a partir de una concentración de 900 ppmV de NO₂ en aire a presión atmosférica irradiando con el láser multilinea a una potencia media de 34 mW. Se puede observar que para los mismos tiempos de integración la señal dada por la detección sincrónica aparece más ruidosa, debido al sonido proveniente del obturador mecánico, el cual está en sincronismo con la señal OA.

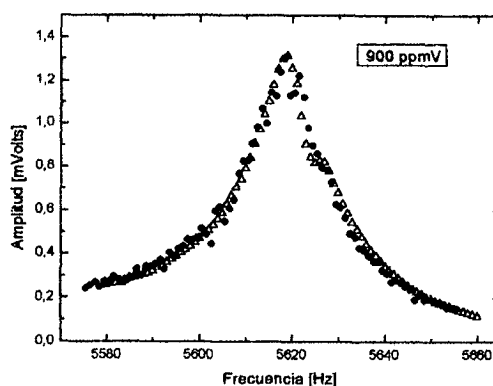


Figura 3. Triángulos: adquisición con placa de sonido, puntos: detección sincrónica.

La señal OA correspondiente a 2,5 ppmV se muestra en la Fig.4, donde a la vez se grafica el ruido de fondo captado por el micrófono cuando se bloquea el haz láser. Debe tomarse en cuenta que previamente se comprobó que el ruido de fondo total, representado por la señal proveniente de la celda llena de aire a presión atmosférica irradiada por el láser, es del orden del ruido exterior (ambiente + refrigeración del láser + obturador mecánico), representado por la condición de bloqueo del haz láser.

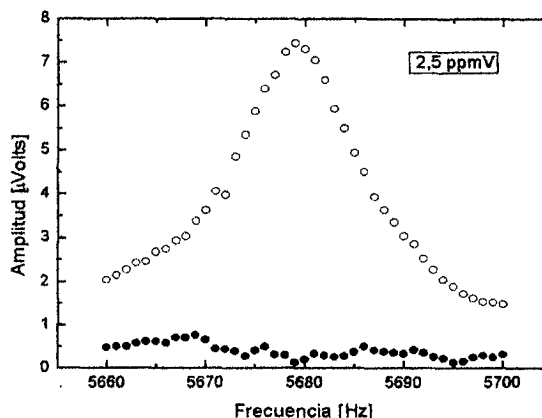


Figura 4. Círculos: señal OA; puntos: fondo sin irradiar.

En la figura 5 se muestra la calibración del sistema al adquirir la señal en base a la placa de sonido, irradiando las muestras con una potencia media de 35mW. Como es de esperarse⁷ la respuesta del sistema presenta una dependencia lineal con la concentración. Su coeficiente de correlación es de 0,999.

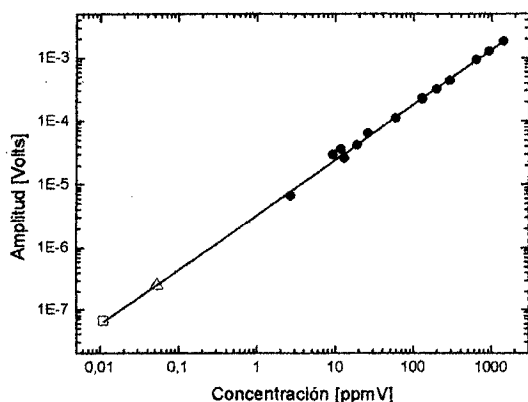


Figura 5. Curva de calibración. Triángulo: límite para el sistema OA actual, cuadrado: límite para detección sincrónica

La concentración mínima medible (S/N=1) es considerada como la correspondiente a la diferencia entre la amplitud media de la señal de aire puro a presión atmosférica alrededor de la frecuencia de resonancia al irradiar con el láser y la amplitud media registrada al bloquear la radiación (fondo). De esta manera se determinó un valor de 50 ppbV. Al mismo tiempo, con el mismo criterio y en las mismas condiciones experimentales, se determinó el límite de detectividad utilizando detección sincrónica, que resultó ser 10 ppbV, utilizando una constante de tiempo de 3 seg.

En la Fig. 6 se realiza la comparación entre la señal obtenida a partir de aire con el obturador en funcionamiento y sin él, en ambos casos con blindaje acústico y sin irradiación.

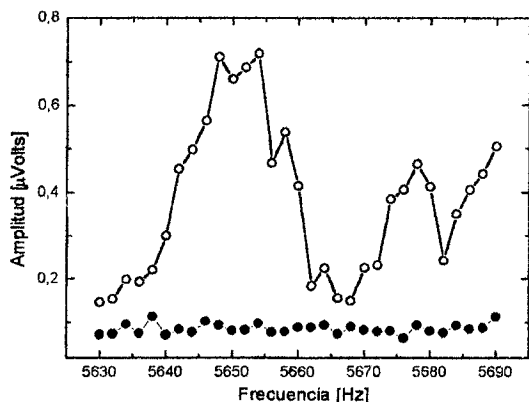


Figura 6. Ruido de fondo introducido por el obturador mecánico. Círculos (puntos): con (sin) obturador.

Se observa una importante contribución del ruido generado por el obturador mecánico. Se concluye que

el sistema de detección OA basado en modulación del haz requiere un importante trabajo de aislación acústica adicional.

El sistema de detección OA de trazas basado en la adquisición a través de la placa de sonido de una PC representa una interesante variante al sistema de detección sincrónica, siendo compacto, de menor costo (no requiere una placa especial para detección sincrónica) y buena sensibilidad. En el caso de excitación con láseres modulados mecánicamente, su problema principal, al igual que en la detección sincrónica, reside en el ruido de fondo originado por el obturador mecánico. Para minimizar esta cuestión se recomienda trabajar en celdas OA resonantes en modos longitudinales de menor frecuencia de resonancia, que introducirían menor ruido, así como también construir una adecuada aislación mecánica y acústica para el obturador.

Referencias

- 1 - Sigrist M.W., Air monitoring by laser photoacoustic spectroscopy in *Air monitoring by spectroscopic techniques*, M.W. Sigrist, Ed., Chemical Analysis, Vol. 127, John Wiley & Sons, New York 1994.
- 2- V. Slezak, Applied Physics B 73 (2001) 751-755.
- 3- V. Slezak, G. Santiago, A. L. Peuriot, aceptado en *Lasers and Optics in Engineering* (2002).
- 4- V. Slezak, J. Codnia, A. L. Peuriot, G. Santiago, aceptado en *Review of Scientific Instruments* (2002). Presentado en la XII ICPPP, Toronto (Junio 2002).
- 5- V. Slezak, aceptado en *Review of Scientific Instruments* (2002). Presentado en la XII ICPPP, Toronto (Junio 2002).
- 6- V. Slezak, *Anales AFA* 12 (2000) 80-83.
- 7- Schäfer S., Miklós A. and Hess P. en *Pulsed laser resonant photoacoustics / Applications to trace gas analysis, in Progress in Photothermal and Photoacoustic Science and Technology*, Vol. 3, A. Mandelis and P.Hess, Eds., SPIE, Bellingham 1997.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro reconocimiento a Emilio Petriella de Laseroptics por el préstamo del láser de Argón utilizado en esta experiencia. Asimismo agradecemos al Sr. J. Luque por la ayuda brindada en los trabajos mecánicos y al Sr. Carlos Morales por los dibujos. Este trabajo fue financiado por la ANPCyT (PICT 04155), CITEFA y CONICET.