

Nueva celda sensora para la medida de concentraciones de gases mediante espectroscopía óptica

Miguel A. Morante, George Stewart[†], Brian Culshaw[†], José M. López-Higuera

Grupo de Ingeniería Fotónica, Departamento TEISA, Universidad de Cantabria
E.T.S.I.I. y Telecomunicación, Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander

Optoelectronics Division - University of Strathclyde, 204 George St., Glasgow G1 1XW, U.K.

Correo electrónico: morante@teisa.unican.es

Abstract:

A new sensing cell suitable for optical fibre gas sensors based on frequency modulation spectroscopy is presented. Its main improvement with respect to the traditional collimating-beam design is the reduction of interferometric noise in almost one order of magnitude without increasing insertion loss. It has applications in multiple-point pollutant and chemical species detection.

1. Introducción

La medida de concentraciones de gases mediante espectroscopía óptica se basa en la atenuación que experimenta una radiación óptica al pasar por un medio que presenta absorción a una determinada longitud de onda. Tradicionalmente se han usado láseres de sal de plomo, que emiten en el infrarrojo medio, y complejos sistemas de óptica de volumen, que complican enormemente la detección en campo de las especies químicas [1]. Frente a ellos, los sistemas de fibra óptica ofrecen enormes posibilidades para la aplicación práctica de detectores de concentraciones de gases y agentes contaminantes en instalaciones industriales donde es necesario monitorizar muchos puntos y con un coste reducido.

En los espectrómetros ópticos por absorción de la radiación emitida, la parte que realiza la transducción entre la concentración a medir y la señal óptica es la celda sensora. El diseño de la misma que más se ha utilizado consta de elementos ópticos de colimación de haces para no perder mucha potencia en el camino que recorre el haz en contacto con la sustancia absorbente. De su eficiencia en la medida de absorción sin introducir señales espúreas dependen las prestaciones del sensor. El mayor inconveniente que presenta este tipo de sensores reside en las múltiples reflexiones del haz colimado en las diferentes superficies que encuentra a su paso. Esta reflexiones provocan interferencias ópticas, dada la elevada coherencia de las fuentes empleadas, que constituyen la principal limitación de estos sensores cuando se trata de detectar absorciones pequeñas. El ruido interferométrico ha sido ampliamente reconocido como la principal fuente de ruido en los sensores de gas por espectroscopía óptica, y se han propuesto diferentes métodos de procesamiento de la señal emitida

y de la señal detectada para reducir su efecto sobre la medida [2-4].

En este trabajo se presenta una forma diferente de reducir el ruido interferométrico para sensores de fibra óptica, sin necesidad de acudir a complejos esquemas de procesamiento de señal, o bien que puede ser utilizada en conjunción con aquéllos para mejorar la sensibilidad del sensor. Se trata de un diseño novedoso del transductor óptico, que no implica una complejidad de realización adicional ni un mayor coste de fabricación.

2. Diseño de la Celda

La celda transductora tiene la misión de poner en contacto con el aire la radiación óptica emitida por la fuente láser, y recogerla después de ser absorbida parcialmente por la presencia de la sustancia molecular en el aire. Es importante que las pérdidas de potencia óptica en la celda sean mínimas, fundamentalmente por dos razones. En primer lugar, la radiación se lleva a los puntos de medida remotos mediante fibras ópticas monomodo, y puede haber muchas celdas sensoras compartiendo el mismo láser, con lo cual no se dispone de gran cantidad de potencia óptica en cada celda. Y por otra parte, la variación por absorción de la intensidad de la radiación emitida es una pequeña fracción de la potencia recogida, lo que hace que cuanto mayores sean las pérdidas de inserción menor capacidad de resolución de concentraciones se tenga.

El diseño de celda tradicional hace uso de lentes de índice gradual (GRIN) que permiten enviar un haz colimado a partir de la radiación transmitida por una fibra óptica. Otra lente de las mismas características introduce ese haz en la fibra de retorno. Este tipo de celda se muestra en la Fig. 1

(a), y tiene el problema de que en las caras de las lentes GRIN se forma una cavidad resonante donde la radiación coherente interfiere y provoca un patrón de franjas que enmascara la señal de absorción debida al gas.

Como solución a este problema se ha propuesto y verificado otro diseño de celda que reduce en gran medida las múltiples reflexiones mediante el uso de lentes GRIN focalizantes. La eficiencia de acoplo entre lentes se ha demostrado que es mayor, y el ruido interferométrico se reduce considerablemente debido a que los rayos reflejados en las paredes de la cavidad son divergentes, tal y como muestra la Fig. 1 (b).

3. Trabajo Experimental

Las dos celdas sensoras mencionadas se utilizaron en un sistema optoelectrónico para la medida de concentraciones de gas metano mediante espectroscopía óptica, con el objeto de comparar sus prestaciones de resolución y sensibilidad. El sistema completo, que se describe en profundidad en otro artículo [5], y las condiciones de medida de gas eran los mismos para las dos celdas transductoras. Ambas tenían la misma longitud, de modo que la absorción que provocaban era la misma.

Dado que el objetivo de este trabajo era caracterizar el ruido interferométrico que cada celda introduce en el sistema, se utilizó detección de segundo armónico, puesto que las franjas de interferencia tienen una magnitud más comparable a la señal que en el caso del armónico fundamental. Asimismo, para resaltar la distorsión de la señal detectada debida al ruido provocado por cada una de las celdas, se evitó cualquier tipo de procesamiento electrónico que redujera su influencia sobre la señal total detectada.

Previamente se habían caracterizado las pérdidas de inserción en cada una de las celdas, puesto que éstas también influyen en las prestaciones del sistema sensor completo.

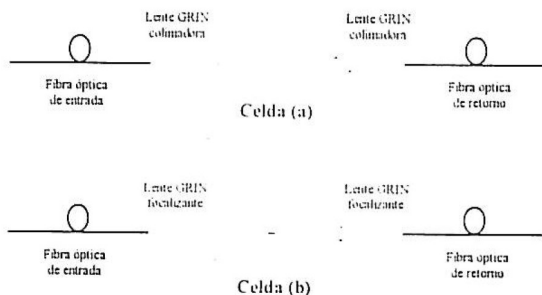


Figura 1 Esquema de las dos celdas sensoras cuyas prestaciones se comparan en este trabajo: a) celda colimadora de haces tradicional; b) el nuevo diseño de celda focalizante

3.1 Pérdidas de Inserción

Las pérdidas de inserción tienen mucha importancia en el caso de sistemas sensores multipunto, puesto que en ellos se tienen muchas celdas compartiendo el mismo láser, de modo que cada una recibe una pequeña cantidad de potencia óptica. Para una fuente láser y un subsistema fotodetector dados, el número de puntos de medida que se puedan implementar en el sistema depende de las pérdidas de potencia introducidas por el tipo de celda sensora empleada.

Ambos tipos de lentes GRIN se montaron sobre surcos en V de gran precisión realizados sobre alúmina, de modo que se aseguraba el alineamiento entre lentes. La separación de las mismas, que define la longitud de absorción, era de 5 cm para ambos tipos de celda.

La celda colimadora produjo unas pérdidas de inserción de 2.9 dB, mientras que en el caso de la focalizante fueron de 1.2 dB. Esto significa que el diseño de celda presentado en este trabajo permite realizar un sistema multipunto con un número de puntos de medida casi un 50% superior que en el caso de la celda tradicional.

3.2 Ruido Interferométrico

En la espectroscopía por modulación de la longitud de onda del láser con detección de segundo armónico la señal detectada tiene la forma de la segunda derivada de la función de Lorentz, y la concentración de la sustancia absorbente es proporcional al pico de dicha función [6]. La Fig. 2 muestra esta función para el caso ideal, es decir, cuando no hay ningún tipo de ruido presente. La línea espectral de absorción del gas se encuentra en la mitad izquierda de la figura. Se ha extendido el rango de frecuencias ópticas monitorizado más allá de la zona de absorción para ver claramente las franjas de ruido interferencial en una zona donde no hay señal de presencia de gas.

Las señales reales detectadas con los dos tipos de celda estudiados se presentan en la Fig. 3, para el mismo rango de frecuencias ópticas y con los mismos ajustes en el sistema completo. En ambos casos se observa idéntico número de franjas de interferencia, correspondientes a la misma longitud de la cavidad de Fabry-Perot, pero la amplitud de las mismas en la señal (a) es tres veces superior que en la (b). A esto hay que añadir que la señal detectada en el caso (a) es un 50% menor que la (b), debido a las mayores pérdidas de inserción, como también se observa en la figura.

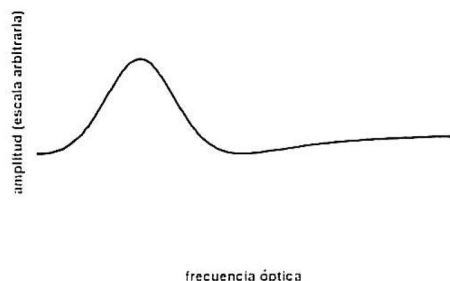


Figura 2 Función ideal de segundo armónico para el rango de frecuencias ópticas utilizado en la práctica.

Todo ello hace que la relación señal a ruido, cuando el ruido considerado es el interferométrico, se incremente en unos 7dB si se utiliza el diseño de celda sensora propuesto en este trabajo. En otras palabras, la nueva celda permite detectar concentraciones de gas cinco veces menores que la tradicional.

4. Conclusiones

Se ha presentado una nueva celda transductora para sensores de fibra dedicados a la detección de gases y sustancias contaminantes mediante espectroscopia óptica. El diseño utiliza dispositivos microópticos focalizantes y consigue reducir considerablemente las múltiples reflexiones, que son la mayor fuente de ruido en estos sistemas. Además, disminuye las pérdidas de potencia, con lo que permite aumentar el número de puntos de medida posibles en un sensor multipunto.

Concretamente, para una longitud de absorción de 5 cm se ha conseguido una mejora de las pérdidas de inserción de casi 2 dB, y una disminución a la tercera parte del ruido interferométrico, con respecto a la celda tradicional. En definitiva, con este transductor se consigue incrementar en más de 7 dB la relación señal a ruido, y con ella la resolución, de los sensores de fibra óptica para medida de concentración de gases con respecto a los que utilizan el diseño de celda colimadora de haces.

Como aplicaciones de este transductor se tienen los sensores de fibra óptica por modulación de intensidad que utilicen una fuente muy coherente y en los que las variaciones de potencia óptica a registrar sean muy pequeñas. Ejemplos claros son los detectores de concentraciones de gases y contaminantes en aire, tanto en plantas industriales y edificios como en espacios abiertos.

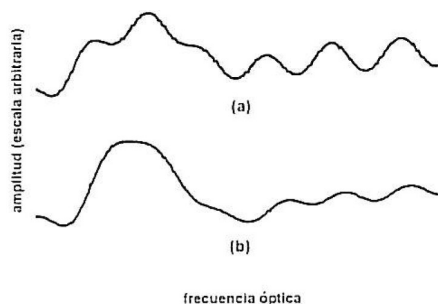


Figura 3 Comparación de las dos señales detectadas con los dos tipos de celdas sensoras para una misma concentración de gas y con idénticos ajustes en el sistema completo: a) celda tradicional; b) nueva celda propuesta

Agradecimientos

Este trabajo se realizó principalmente durante la estancia del primer autor en la Universidad de Strathclyde, Glasgow (Reino Unido), financiada por la Dirección General de Investigación Científica y Técnica del M.E.C. español, y utilizando recursos del proyecto OMEGA del Programa Fotónico LINK del Gobierno Británico.

Referencias

- [1] Cooper, D.E. and Carlisle, C.B., "High-sensitivity FM spectroscopy with a lead-salt diode laser", *Optics Letters*, **13**, 9, 719-721, (1988).
- [2] Sun, H.C. and Whittaker, E.A., "Novel etalon fringe rejection technique for laser absorption spectroscopy", *Applied Optics*, **31**, 24, 4998-5002, (1992).
- [3] Jin, W., Stewart, G., Culshaw, B., Murray, S., Wilkinson, M., and Norris, J.O.W., "Performance limitation of fiber optic methane sensors due to interference effects", *Journal of Lightwave Technology*, **14**, 5, 760-769, (1996).
- [4] Silver, J.A. and Stanton, A.C., "Optical interference fringe reduction in laser absorption experiments", *Applied Optics*, **27**, 10, 1914-1916, (1988).
- [5] Morante, M.A., Stewart, G., Culshaw, B., y López-Higuera, J.M., "Desarrollo de un sensor de fibra óptica para detectar metano en ambientes explosivos o inflamables", *XII Simposium Nacional URSI '97*, Bilbao, 15-17 Septiembre 1997.
- [6] Reid, J. and Labrie, D., "Second harmonic detection with tunable diode lasers: comparison of experiment and theory", *Applied Physics B*, **26**, 203-210, (1981).