



HAL
open science

Guides optiques infrarouges pour la détection du CO₂

Frederic Charpentier, Bruno Bureau, Virginie Nazabal, Frederic Smektala, Johann Troles, Catherine Boussard-Pledel, Karine Michel, Herve Lhermite, Joël Charrier, Jean-Pierre Guin, et al.

► **To cite this version:**

Frederic Charpentier, Bruno Bureau, Virginie Nazabal, Frederic Smektala, Johann Troles, et al.. Guides optiques infrarouges pour la détection du CO₂. 27èmes Journées Nationales d'Optique Guidée (JNOG 2008), Oct 2008, Lannion, France. pp.337-339. hal-00358564

HAL Id: hal-00358564

<https://hal.science/hal-00358564>

Submitted on 3 Feb 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GUIDES OPTIQUES INFRAROUGES POUR LA DETECTION DU CO₂

Frédéric CHARPENTIER¹, Bruno BUREAU¹, Virginie NAZABAL¹, Frédéric SMEKTALA², Johann TROLES¹, Catherine BOUSSARD¹, Karine LE PIERRES³, Hervé LHERMITE⁴, Joël CHARRIER⁵, Jean-Pierre GUIN⁶, Jean-Luc ADAM¹

¹ Equipe Verres et Céramiques, UMR 6226, Campus Beaulieu, Bâtiment 10B - 35042 Rennes Cedex

² Institut Carnot, UMR-CNRS 5209, Université de Bourgogne, 21078 Dijon

³ BRGM, Service Métrologie Monitoring et analyse, 45060, Orléans, France

⁴ IETR-Microelectronique, Université Rennes1, 35042 Rennes, France

⁵ FOTON-CCLO, UMR 6082-ENSSAT, Université Rennes 1, 22305 Lannion, France

⁶ LARMAUR, Université Rennes1, 35042 Rennes

frederic.charpentier@univ-rennes1.fr

RESUME

L'équipe Verres et Céramiques développe des fibres optiques originales qui sont à la base de la réalisation de capteur optique opérant dans l'infrarouge. L'intérêt et le potentiel de ces capteurs ont été démontrés dans des domaines variés, notamment en biologie et en médecine.

L'objet de ce travail consiste à exploiter ce savoir faire pour réaliser des guides optiques permettant la détection et le monitoring du CO₂.

Des premiers résultats ont été obtenus en transmission classique entre deux fibres infrarouges. Ils ont montré qu'il est possible de détecter jusqu'à 0.5% de CO₂. L'objectif actuel est d'améliorer la sensibilité de détection au dioxyde de carbone par une augmentation de la surface de contact gaz-fibre, en utilisant des fibres microstructurées. Une autre voie consiste à fabriquer des guides planaires qui nous permettent d'envisager, à terme, la réalisation de micro-composants optiques en verre de chalcogénure avec une robustesse et une compacité accrues.

MOTS-CLEFS : *fibres optiques ; détection chimique ; couches minces.*

1. INTRODUCTION

Le dioxyde de carbone est le principal gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique et sa concentration dans l'atmosphère ne cesse d'augmenter. Cette dernière est passée de 280ppm à 375ppm depuis le début de l'ère industrielle. Afin de réduire les émissions de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, une possibilité envisagée est la capture et le stockage du CO₂ en sous sol. Cette méthode consiste à utiliser d'anciens gisements d'hydrocarbures actuellement vides et d'y injecter le gaz. Un aspect de ce projet consiste à surveiller le CO₂. Lors de son stockage sous terrain notamment pour éviter une éventuelle contamination autour des réservoirs géologiques naturels.

Les verres de chalcogénures réalisés au sein de l'équipe Verres et Céramiques (EVC) sont obtenus à partir des éléments chalcogènes (S, Se et Te) qui sont associés à d'autres éléments chimiques tels que le germanium, l'antimoine ou l'arsenic. Ces matériaux sont très intéressants puisqu'ils possèdent une large fenêtre de transparence optique dans le moyen infrarouge (pouvant s'étendre jusqu'à 20µm). Or si l'on observe le spectre du dioxyde de carbone dans le domaine infrarouge, on observe que celui-ci possède une bande très intense à 4,3µm environ. Il est donc possible d'utiliser les verres de chalcogénures pour la détection et le monitoring du CO₂.

2. TECHNIQUES DE DETECTION

Les verres de chalcogénures, mis sous forme de fibres optiques, ont déjà été utilisés dans la détection de polluants dans les eaux [1], ou dans le domaine de l'agro-alimentaire [2]. On utilise alors la spectroscopie infrarouge par ondes évanescentes appelée FEWS, qui permet une analyse en

direct et de façon déportée de l'échantillon. Cette technique est basée sur l'existence d'une onde évanescente qui s'échappe de quelques micromètres hors de la fibre quand celle-ci est parcourue par un flux de lumière infrarouge. Il suffit alors pour enregistrer le spectre infrarouge d'une substance, que celle-ci soit au contact de la fibre optique

Dans le cadre d'un projet en collaboration avec l'ADEME et le BRGM, nous avons donc modifié notre système de détection pour obtenir de la transmission de signal infrarouge d'une fibre à une autre. Le flux de lumière traversant ainsi une zone de plusieurs millimètres où le dioxyde de carbone peut circuler librement.

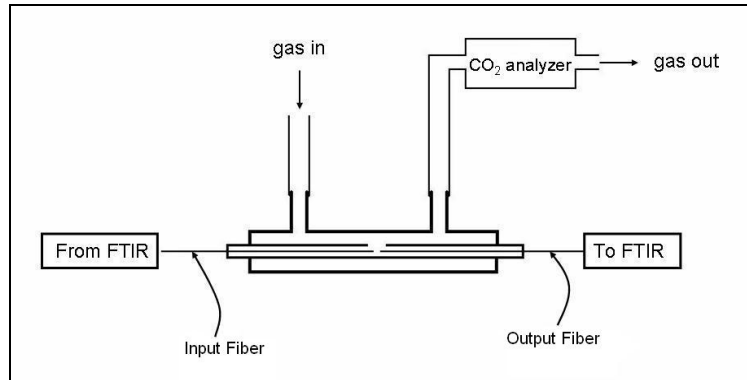


FIG. 1 : Schéma du montage pour la détection du CO₂.

On a alors pu montrer que sans aucune optimisation du système, il est possible de détecter 0,5% de CO₂ [3]. De plus cette technique offre une analyse déportée, en temps réel et totalement réversible comme le montre la fig 2(a) et 2(b).

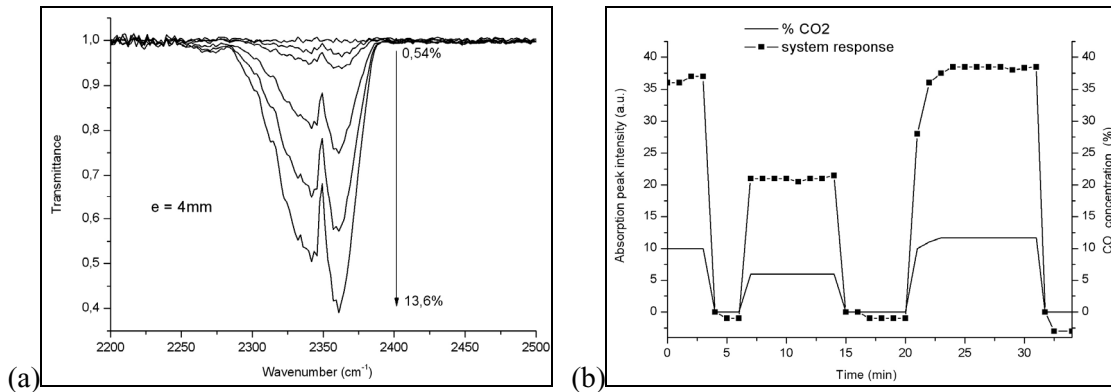


FIG. 2 : Spectres de transmission en fonction de la concentration en CO₂ (a) et réponse du système aux variations de la concentration au cours du temps (b).

3. AUTRES VOIES DE DETECTION

La voie « FEWS » a été également mise en oeuvre pour la détection du CO₂. A ce jour, le seuil de détection est trop élevé pour envisager le monitoring par cette méthode. De plus des phénomènes d'adsorption de surface semble se produire. Cependant, afin d'améliorer la sensibilité de notre capteur, il est envisagé d'utiliser des fibres microstructurées ce qui permettra une détection mixte entre le FEWS et la transmission avec une surface de contact gaz-fibre étendue. En effet, le but sera de remplir de gaz, toute la microstructure.

Une autre voie est basée sur l'utilisation de guides planaires pour l'optique intégrée. Ces guides planaires offrent l'avantage de la miniaturisation et de la robustesse par rapport aux fibres. Des couches minces ont donc été réalisées par trois techniques de dépôts : évaporation assistée par

canon à électrons, ablation laser et pulvérisation cathodique RF magnétron. Chacune ayant ses avantages et inconvénients, il nous est apparu intéressant de comparer leur potentialité et leurs caractéristiques propres pour des dépôts de chalcogénures amorphes en considérant des matériaux cibles équivalents. Nous avons sélectionné plusieurs systèmes : Ge(Ga)-Sb-S(Se) et As-Se-Te afin d'optimiser les propriétés physico-chimiques des couches minces en jouant notamment sur des indices de réfraction et des domaines de transmission différents. Il ressort de cette étude des vitesses de dépôts relativement comparables entre l'évaporation et la PLD ($\sim 0,7\text{nm/s}$), une morphologie non colonnaire et des rugosités très faibles de l'ordre de $0,4\text{nm}$ pour une couche de $6\mu\text{m}$ d'épaisseur pour la pulvérisation et la PLD. Ces techniques de dépôt ont l'avantage de conserver relativement bien la stœchiométrie par rapport à celle des verres massifs sélectionnés pour l'étude et également d'obtenir des couches de bonne qualité optique. Des pertes optiques intéressantes ont été obtenues par pulvérisation. Elles sont inférieures à $0,9\text{dB/cm}$ à $1,54\mu\text{m}$ en guide de type ruban de largeur allant de 3 à $15\mu\text{m}$, d'épaisseur totale $9\mu\text{m}$ et gravé sur $4\mu\text{m}$. Au vu des résultats, nous focaliserons notre attention sur la pulvérisation cathodique et malgré des pertes optiques tout à fait satisfaisantes par rapport à la littérature, une optimisation sera réalisée afin d'atteindre des valeurs de l'ordre de $0,5\text{dB/cm}$. Pour cela, il faudra augmenter la définition des guides en terme de verticalité et de rugosité des bords obtenus par gravure physique RIE en plasma CF_4 . En vue d'une application capteur, l'optique intégrée nous permet d'envisager la réalisation d'une jonction Y dans l'objectif ultime de ne mettre en contact, avec le milieu à sonder, qu'un seul bras pour bénéficier d'un signal de référence. Des guides en verre sulfure ont ainsi été réalisés comme le montre la figure 3.

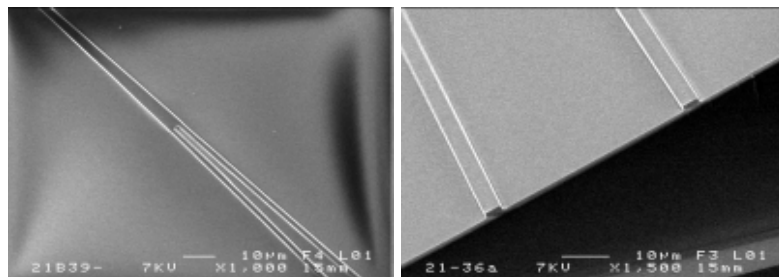


FIG. 3 : Images MEB de guides optiques Y en verre sulfure.

CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons montré la faisabilité d'un capteur CO_2 dans l'infrarouge en utilisant des fibres optiques en verres de chalcogénures. Deux nouvelles voies sont désormais à l'étude : les fibres microstructurées pour augmenter la sensibilité de notre système ainsi que les guides de type ruban en Y pour l'optique intégrée. L'ensemble de ces résultats sera présenté.

REFERENCES

- [1] K. Michel, "Capteur optique à fibre infrarouge dédié à la détection et à l'analyse de la pollution de l'eau", Université de Rennes 1, 2003
- [2] M.L Anne, "Guides d'ondes en verres de chalcogénures pour la détection infrarouge d'espèces (bio)chimiques", Université de Rennes 1, 2007
- [3] F. Charpentier, B. Bureau, J. Troles, C. Boussard-Pledel, K. Michel-Le Pierres, F. Smektala and J.-L. Adam, "Infrared monitoring of underground CO_2 storage using chalcogenide glass fibers", *Optical Materials*, **In Press, Corrected Proof**, (2008)