

AVIS DE SOUTENANCE DE THESE

Monsieur Bruno Felipe LEITAO ALMEIDA est autorisé à présenter ses travaux en vue de l'obtention du diplôme national de DOCTORAT délivré par l'école CENTRALE MARSEILLE

Le 10 novembre 2022, à 10H00

Lieu : salle Pierre Cotton, Institut Fresnel,
52 Av. Escadrille Normandie Niemen, 13013 Marseille

Titre : **Structuration par laser de couches métalliques encapsulées par des diélectriques**

École doctorale : **ED 352 Physique et Sciences de la Matière**

Spécialité : **Optique, Photonique, et Traitement d'Image**

Rapporteurs

Monsieur Rémi LAZZARI, Directeur de Recherche, Institut des Nanosciences de Paris, France.

Madame Nathalie DESTOUCHES, Professeur des universités, Université de Lyon, France.

Membres du Jury

Monsieur Rémi LAZZARI, Directeur de Recherche, Institut des Nanosciences de Paris, France.

Madame Nathalie DESTOUCHES, Professeur des universités, Université de Lyon, France.

Monsieur Laurent GALLAIS, Professeur, Ecole Centrale de Marseille, France.

Madame Sophie CAMELIO, Professeur des universités, Université de Poitiers, France.

Monsieur Denis GUIMARD, Docteur, Saint-Gobain Recherche, France.

Monsieur Julien LUMEAU, Directeur de recherche, Institut Fresnel, France.

Résumé (FR)

Des empilements de couches minces à base d'argent sont aujourd'hui déposés à la surface du verre pour améliorer l'isolation thermique des fenêtres et ainsi réduire la consommation énergétique des bâtiments. Pour certains de ces produits, un traitement flash laser (technologie Actilaz de Saint-Gobain) peut être utilisé pour améliorer significativement les propriétés d'isolation du vitrage (de l'ordre de 20%) en modifiant son émissivité. Lors du développement de cette technologie, il a de plus été découvert que ce traitement laser pouvait avantageusement permettre de structurer ces couches d'argent encapsulées sur de très larges surfaces. Néanmoins le contrôle de la structuration ne semblait pas aisé et nécessitait plus de compréhension sur les phénomènes mis en jeu pour pouvoir exploiter de telles structures.

C'est pourquoi les objectifs de ce travail de thèse étaient i) d'obtenir des films minces structurés par laser de manière reproductible et contrôlée (motifs, périodes, tailles, ...) ii) en essayant de comprendre le(s) mécanisme(s) responsable(s) de la formation de ces structures en s'appuyant directement sur des mesures *in-situ* lors des traitements laser.

Nous avons remarqué que l'utilisation d'une couche métallique d'Aluminium par rapport à une couche d'Argent permettait dans un premier temps d'obtenir une structuration très stable et reproductible (sans délamination). Dans un second temps nous avons donc pu étudier l'impact de différents paramètres sur les structures obtenues, tels que l'épaisseur de la couche métallique, l'épaisseur et la nature de la couche diélectrique encapsulante, ou bien encore la nature de la sous-couche. L'épaisseur de la couche d'Aluminium par exemple est un paramètre clé qui permet notamment d'obtenir différents motifs tels que des îlots aléatoires, des îlots organisés, des lignes droites ou bien encore des zigzags.

Grâce aux méthodes de mesures *in-situ* que nous avons développées au laboratoire (telles que des mesures par caméra thermique IR ou de la microscopie optique rapide), nous avons pu mettre en évidence que la structuration a lieu systématiquement à des températures supérieures à la température de fusion de l'Aluminium. La structuration se déroule donc lorsque la couche métallique est à l'état liquide. En prenant en compte également le fait que les périodes des structures dépendent directement de l'épaisseur de la couche d'encapsulation et de l'épaisseur de la couche métallique, nous avons pu proposer un mécanisme de type plissage (wrinkling) pour expliquer ces phénomènes de structuration dans nos systèmes.

Mots clés : Structuration de couches métalliques, couches minces métalliques, traitement laser, démouillage, plissage

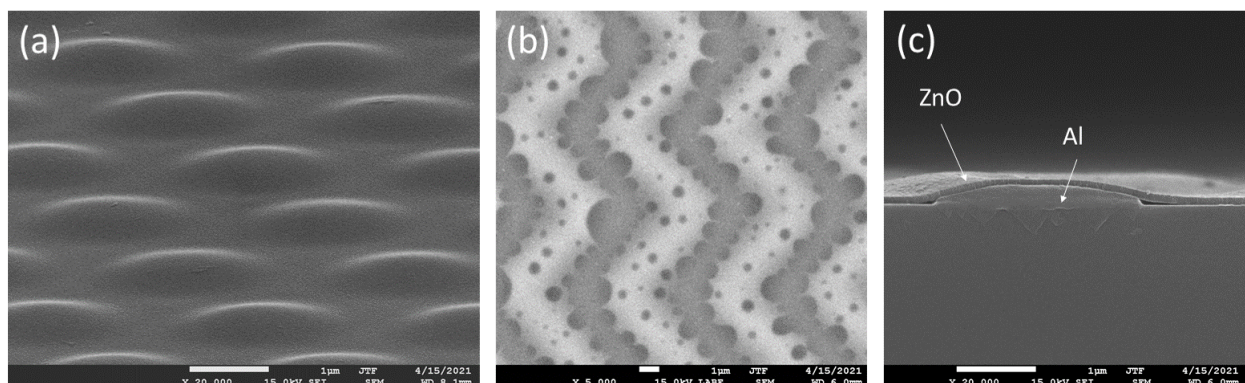
Abstract (EN)

Silver-based stacks layers are deposited on the surface of soda-lime glass to improve the thermal insulation of windows and thus reduce the energy consumption of buildings. For some of these products, a flash laser treatment (Saint-Gobain's Actilaz technology) can be used to significantly improve the insulating properties of the glazing (by about 20%) by modifying the emissivity of these stacks. During the development of this technology, it was also discovered that this laser treatment could advantageously structure these encapsulated silver layers on very large surfaces. Nevertheless, the control of the structuring did not seem to be easy and required more understanding of the phenomena involved in order to exploit such structures. This is why the objectives of this thesis work were i) to obtain laser-structured thin films in a reproducible and controlled way (patterns, periods, sizes, ...) and ii) to try to understand the mechanism(s) responsible for the formation of these structures via *in-situ* measurements during laser treatments.

In the first step, we noticed that the use of a metallic layer of Aluminum compared to a layer of Silver made it possible to obtain a very stable and reproducible structuring process (without delamination). In the second step, we were able to study the impact of different parameters on the obtained structures, such as the thickness of the metallic layer, the thickness and the nature of the encapsulating dielectric layer, and even the nature of the bottom layer. For example, the thickness of the aluminum layer is a key parameter that allows obtaining different patterns such as random islands, organized islands, straight lines, or zigzags.

Thanks to the *in-situ* measurement methods that we have developed in the laboratory (such as IR thermal camera measurements or fast optical microscopy), we have been able to show that structuring systematically takes place at temperatures above the melting temperature of Aluminum. Thus, this structuring takes place when the metallic layer is in the liquid state. Taking also into account that the periods of the structures depend directly on the thickness of the encapsulation layer and the thickness of the metallic layer, we were able to propose a mechanism of wrinkling type to explain these structuring phenomena in our systems.

Keywords: Patterning metallic layers, metallic thin film, laser processing, dewetting, wrinkling



Images MEB des structures : Vue inclinée à 20° d'îlots organisés (a), vues de dessus et en coupe transversale de zigzags, (b) et (c) respectivement.