

Proposition of subject for PhD CIFRE 2024

Synthesis of plasmonic nanostructures by magnetron sputtering: understanding the key parameters in controlling their morphology

Context

Leader in the field of sustainable housing, Saint-Gobain designs, produces and distributes innovative materials to reduce the environmental impact of buildings. For the glazing market, the group is developing solutions based on thin layer stacks of different types (metallic and dielectric). With a thickness of around a few tens of nanometers, these coatings are deposited on the surface of the glass by magnetron sputtering. Their optical properties can be modified by incorporating metallic nanoparticles (NPs) which will generate absorption peaks associated with plasmon resonance phenomena. This makes it possible to modify the color in reflection or transmission of glass products such as tinted solar control glazing, whose objective is to limit heat flows in buildings.

Subject of the PhD

The position and spectral selectivity of the plasmon peaks vary with the nature and 3D shape of the nanoparticles, but also with the nature of the materials of the adjacent layers. In addition, the increase in the density of nano-objects also influences absorption phenomena due to electromagnetic couplings.

The objectives of this project are :

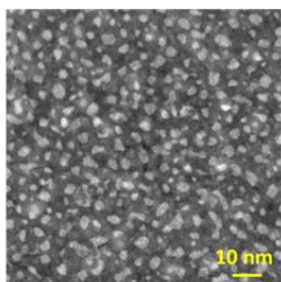


Figure: plan view obtained by electronic microscopy (TEM) of silver NP

- to study the influence of the parameters applied during the process of sputtering on the nucleation and the growth of the islands at the origin of the nanoparticles encapsulated within the stacks. The goal is to better understand the impact, among others of the underlayer and the species constituting the plasma during the deposition of the overlayer, on the final morphology of the objects.
- to develop *in situ* and *ex-situ* characterization strategies in order to determine, with precision and sufficient statistics, the 3D shape and the size of the encapsulated nanoparticles. The techniques selected are UV-visible reflectivity, electron microscopy (SEM, STEM) and even characterizations such as central scattering of X-rays at grazing incidence (GISAXS) with synchrotron radiation.

From an experimental point of view, this thesis will focus on the fabrication of simplified nanostructured stacks: layer 1/metal nanoparticles/layer 2 by magnetron sputtering (DC, RF), and on their morphological and the optical characterization. The student will use *in-situ* and real-time tools as well as *ex-situ* tools available within the laboratories involved.

Partners

The thesis will take place between Saint-Gobain Research Paris (SGR Paris), the laboratory "Surface du Verre et Interfaces" (SVI) and the Institute of NanoSciences in Paris (INSP). Saint-Gobain Research Paris, one of the main R&D centers of SG group, hosts a department dedicated to the development of layer-based products as well as the SVI laboratory, a joint unit between CNRS and Saint-Gobain. The INSP is a Sorbonne University/CNRS laboratory whose scientific activities are at the heart of nanoscience research. The host team at INSP (Oxides in Low Dimensions) is particularly interested in the physicochemical properties of surfaces, thin films, oxide nano-objects and their interfaces with the environment. The development of innovative solutions based on thin films deposited by PVD (Physical Vapor Deposition) is a key theme for these two entities.

Student Profile

Master 2 in research or engineering school with specialization in physics or materials chemistry. Knowledge of solid physics, nanosciences and/or physical deposition methods would be an asset.

Contacts

- SGR Paris, 39 Quai Lucien Lefranc 93303, Aubervilliers Cedex, France : Matteo Balestrieri matteo.balestrieri@saint-gobain.com ; Hervé Montigaud herve.montigaud@saint-gobain.com, Xavier Caillet (Xavier.Caillet@saint-gobain.com), Cynthia Fourmental (Cynthia.Fourmental@saint-gobain.com)
- INSP, 4 place Jussieu, Paris, France : Rémi Lazzari remi.lazzari@insp.jussieu.fr

Proposition sujet de thèse CIFRE 2023

Synthèse de nanostructures plasmoniques par pulvérisation magnétron : compréhension des paramètres clé dans le contrôle de leur morphologie

Contexte

Leader mondial dans le domaine de l'habitat durable, Saint-Gobain conçoit, produit et distribue des matériaux innovants pour réduire l'impact environnemental des bâtiments. Pour le marché des vitrages, le groupe développe des solutions à base d'empilements de couches minces de différentes natures (métalliques et diélectriques). D'une épaisseur de l'ordre de quelques dizaines de nanomètres, ces revêtements sont déposés à la surface du verre par pulvérisation cathodique magnétron. Leurs propriétés optiques peuvent être modifiées en incorporant des nanoparticules (NP) métalliques qui vont générer des pics d'absorption associés à des phénomènes de résonances plasmon. Cela permet de modifier la couleur en réflexion ou en transmission des produits verriers comme les vitrages teintés à contrôle solaire dont l'objectif est de limiter les flux thermiques dans les bâtiments.

Sujet de thèse

La position et la sélectivité spectrale des pics plasmon varient avec la nature et la forme tridimensionnelle des nanoparticules, mais aussi avec la nature des matériaux des couches adjacentes. En outre, l'augmentation de la densité de nanoobjets influence également les phénomènes d'absorption à cause de couplages électromagnétiques.

Les objectifs de ce projet de thèse sont donc :

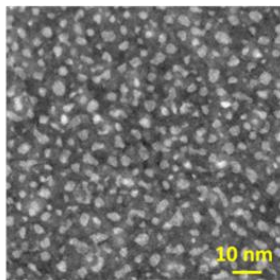


Figure : Vue plane en microscopie électronique en transmission de NP d'Ag

- d'étudier l'influence des paramètres du procédé de pulvérisation magnétron sur la nucléation et la croissance des îlots à l'origine des nanoparticules encapsulées dans les empilements. Le but est de mieux comprendre l'impact, entre autres de la sous-couche et des espèces constituant le plasma lors du dépôt de la surcouche, sur la morphologie finale des objets.

- de développer des stratégies de caractérisation *in situ* et *ex-situ* afin de déterminer, avec précision et une statistique suffisante, la forme 3D et la taille des nanoparticules encapsulées. Les techniques envisagées sont la réflectivité UV-visible, la microscopie électronique (MEB, STEM) voire des caractérisations comme la diffusion centrale de rayons X en incidence rasante (GISAXS) auprès du rayonnement synchrotron.

Du point de vue expérimental, la thèse portera sur la fabrication d'empilements nanostructurés simplifiés : couche 1/nanoparticules métalliques/couche 2 par pulvérisation cathodique magnétron (DC, RF), et sur leur caractérisation morphologique et optique. Le doctorant utilisera des outils *in-situ* et en temps réel mais aussi *ex-situ* disponibles au sein des laboratoires impliqués.

Laboratoires

La thèse se déroulera entre Saint-Gobain Research Paris (SGR Paris), le laboratoire Surface du Verre et Interfaces (SVI) et l'Institut de NanoSciences de Paris (INSP). Saint-Gobain Research Paris, un des principaux centres de R&D du groupe accueille un département dédié au développement des produits à base de couches ainsi que le laboratoire SVI, une unité mixte CNRS/St Gobain. L'INSP est un laboratoire de Sorbonne Université/CNRS dont les activités scientifiques se situent au cœur de la recherche en nanosciences. L'équipe d'accueil à l'INSP (Oxydes en Basses Dimensions) s'intéresse plus particulièrement aux propriétés physico-chimiques des surfaces, films minces, nano-objets d'oxydes et de leurs interfaces avec l'environnement. Le développement de solutions innovantes à base de couches minces PVD (Physical Vapour Deposition) est une thématique clé pour ces deux entités.

Profil recherché

Master 2 recherche ou école d'ingénieur avec spécialisation en physique ou chimie des matériaux. Des connaissances en physique des solides, nanosciences et/ou en méthode de dépôts par voie physique seraient un atout.

Contacts

- SGR Paris, 39 Quai Lucien Lefranc 93303, Aubervilliers Cedex, France : Matteo Balestrieri matteo.balestrieri@saint-gobain.com ; Hervé Montigaud herve.montigaud@saint-gobain.com, Xavier Caillet (Xavier.Caillet@saint-gobain.com), Cynthia Fourmental (Cynthia.Fourmental@saint-gobain.com)
- INSP, 4 place Jussieu, Paris, France : Rémi Lazzari remi.lazzari@insp.jussieu.fr