

Master (M2) internship

In situ characterization of thin films cracking

Supervisors: Dr. Matteo Ghidelli, Ms. Maria Konstantakopoulou (Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, LSPM), Dr. Alessandro Benedetto (Saint-Gobain Research Paris, SGR Paris).

Desired Starting date: February or March 2025 (5-6 months duration)

Keywords: thin films; mechanical properties; *in situ* SEM thermal/mechanical characterization.

A fully funded master (M2) thesis is proposed in the framework of a University-Industry cooperation between the Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM/CNRS) and Saint-Gobain Research Paris (SGR Paris) on the topic of mechanical properties of thin films on glass substrate.

Short description of the master thesis project:

The deposition of thin films on glass surfaces through physical vapor deposition (PVD) techniques enables advanced functionalities including, for instance, precise control over optical and thermal properties. Specifically, **thermally insulating glass** can be produced by depositing a transparent film that allows visible light to pass through, while reflecting infrared (IR) radiation, enabling an **efficient thermal barrier** and reducing heat transfer across the glass. In **buildings and vehicles**, this technology enhances thermal comfort by maintaining a more stable indoor temperature, effectively reflecting heat away during warm weather and retaining warmth during colder months. This reduces the need for heating and air conditioning, contributing significantly to energy efficiency and lower operational costs.

However, in some industrial processes, films are deposited on flat glass substrates and are later bent in more complex shapes, while heating at high temperatures (up to 650 °C). During this process, **the films can undergo cracking and delamination**, making the materials unsuitable for the market, while increasing industry costs. One main limitation is represented by the fact that **the mechanisms influencing the crack formation and delamination of thin films during mechanical and thermal loading are still not clear**.

In this context, **the objective of this internship** is to **investigate cracking and delamination phenomena** of thin films on glass substrates during mechanical and thermal loading, identifying the mechanisms which influence crack formation and delamination. This requires the **use of cutting-edge experimental tools** aimed to probe the mechanical properties on different loading configurations and temperatures, while observing *in situ* crack formation and delamination process.

The mechanical properties will be investigated, first, at T_{room} and then progressively varying the temperature in order to study cracks and delamination phenomena, requiring dedicated trial tests in order to investigate the thermal/mechanical stability of the film during heating. Experiments will be

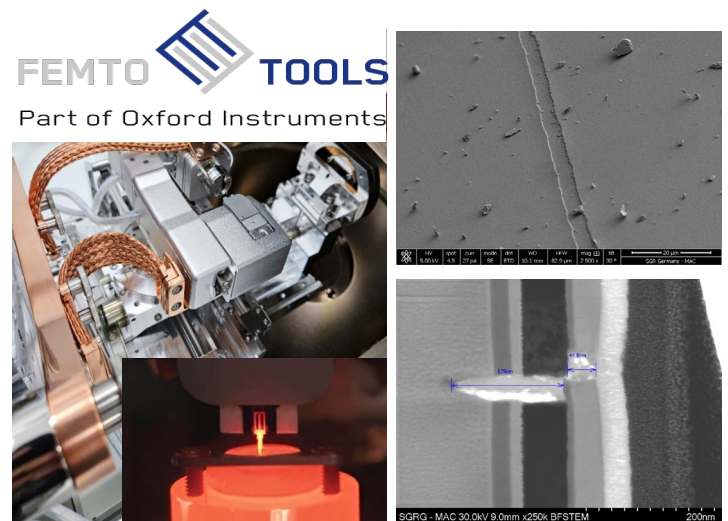


Fig. 1 – (Left) Mechanical characterization *in situ* SEM with FemtoTools NMT-04 with heating stage (LSPM). (Right) SEM micrographs of cracks formations on thin film on glass substrate (SGR Paris).



UNIVERSITÉ
SORBONNE
PARIS NORD



conducted by **nanoindentation and tensile tests** to explore different loading conditions. Specifically, while tensile tests provide a more general behavior for cracks formations similar to industry requirements, nanoindentation will provide accurate/local mechanical information together with more critical loading conditions for cracks initiation and propagation. Both nanoindentation and tensile tests will be carried out ***In situ* Scanning Electron Microscopy (SEM)** to visualize cracks formation mechanisms during heating and cooling, while assessing the mechanical behavior.

Your tasks:

- Setup nanoindentation and tensile tests (LSPM) for specifically design samples (thin films on glass substrate) provided by SGR Paris.
- Investigation of mechanical behavior by nanoindentation and tensile tests at room temperature.
- Evaluate samples' thermal stability and perform *in situ* SEM mechanical characterizations at different temperatures aimed exploring crack and delamination process.
- Relate the obtained results with thin film structure and deposition process aimed to identify the critical mechanisms for crack formations.

The offer:

- Multidisciplinary project covering materials science, mechanics, and nanotechnologies.
- Development of cutting-edge experimental tools for microscopy and mechanical characterizations.
- Strong connection between university and industry.
- Multicultural and dynamic laboratory.

Your Profile:

- Master's degree in physics, materials science, mechanics or similar disciplines.

Further information & Application:

For further information and application please send your CV and your exam scores (Bachelor and Master) to Dr. Matteo Ghidelli (matteo.ghidelli@lspm.cnrs.fr) and to Dr. Alessandro Benedetto (Alessandro.Benedetto@saint-gobain.com)

In situ characterization of thin films cracking

Encadrants : Dr. Matteo Ghidelli, Mme Maria Konstantakopoulou (Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux, LSPM), Dr. Alessandro Benedetto (Saint-Gobain Research Paris, SGR Paris).

Date de début souhaitée : Février ou mars 2025 (durée de 5 à 6 mois).

Mots-clés : films minces ; propriétés mécaniques ; caractérisation thermique/mécanique in situ MEB.

Un **stage de master (M2)** est proposé dans le cadre d'une collaboration Université-Industrie entre le **Laboratoire des Sciences des Procédés et des Matériaux (LSPM/CNRS) et Saint-Gobain Research Paris (SGR Paris)** sur le thème des propriétés mécaniques des films minces déposés sur substrat en verre.

Description succincte du projet de stage :

Le dépôt de films minces sur des surfaces en verre via des techniques de dépôt physique en phase vapeur (PVD) permet d'obtenir des fonctionnalités avancées, comme le contrôle précis des propriétés optiques et thermiques. Par exemple, **le verre isolant thermique** peut être produit en déposant un film transparent qui laisse passer la lumière visible tout en réfléchissant les rayonnements infrarouges (IR). Cela crée une **barrière thermique efficace**, réduisant les transferts de chaleur à travers le verre. Dans les bâtiments et les véhicules, cette technologie **améliore le confort thermique** en maintenant une température intérieure plus stable, réfléchissant la chaleur en été et retenant la chaleur en hiver. Cela diminue les besoins en chauffage et climatisation, contribuant ainsi à une meilleure efficacité énergétique et à la réduction des coûts opérationnels.

Cependant, dans certains processus industriels, les films sont déposés sur des substrats de verre plat, puis bombés dans des formes plus complexes tout en étant chauffés à haute température (jusqu'à 650 °C). Pendant ce processus, **les films peuvent se fissurer et se délaminer**, les rendant inadéquats pour une commercialisation tout en augmentant les coûts industriels. Une des limitations principales réside dans le fait que **les mécanismes influençant la formation de fissures et la délamination des films minces sous chargement mécanique et thermique restent encore mal compris**.

Dans ce contexte, **l'objectif de ce stage est d'investiguer les phénomènes de fissuration et de délamination** des films minces sur substrats en verre sous chargement mécanique et thermique, en identifiant les mécanismes influençant leur formation. Cela nécessitera l'utilisation **d'outils expérimentaux de pointe** pour analyser les propriétés mécaniques dans différentes configurations de chargement et de température, tout en observant in situ les processus de formation des fissures et de délamination.

FEMTO TOOLS
Part of Oxford Instruments

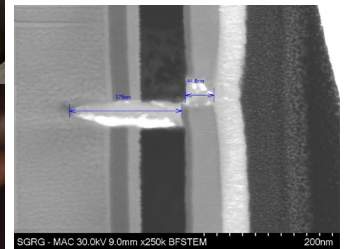
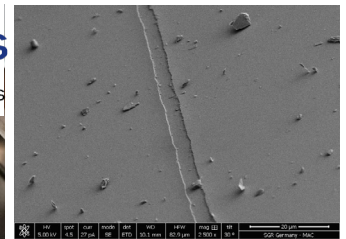
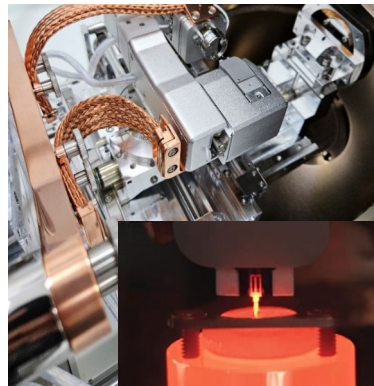


Fig. 1 – (Gauche) Caractérisation mécanique *in situ* au MEB avec FemtoTools NMT-04 avec une platine chauffante (LSPM). (Droite) Images MEB des fissures d'un film mince sur substrat en verre (SGR Paris)



UNIVERSITÉ
SORBONNE
PARIS NORD



Les propriétés mécaniques seront étudiées dans un premier temps à température ambiante, puis en faisant varier progressivement la température pour analyser les phénomènes de fissuration et de délamination. Cela nécessitera des essais exploratoires pour évaluer la stabilité thermique/mécanique du film pendant le chauffage. Les expériences comprendront des **essais de nanoindentation et de traction** pour explorer différentes conditions de chargement. Plus précisément, les essais de traction fourniront une vision globale des phénomènes de formation de fissures correspondante aux exigences industrielles alors que la nanoindentation offrira des informations mécaniques locales plus précises et des conditions de chargement critiques pour la nucléation et la propagation des fissures. Les expériences seront conduites **in situ microscope électronique à balayage (MEB)** afin de visualiser les mécanismes de formation des fissures pendant le chauffage et le refroidissement, tout en évaluant le comportement mécanique.

Vos missions :

- Configurer les essais de nanoindentation et de traction (LSPM) pour des échantillons spécifiquement conçus (films minces sur substrats en verre) fournis par SGR Paris.
- Étudier le comportement mécanique par nanoindentation et essais de traction à température ambiante.
- Évaluer la stabilité thermique des échantillons et réaliser des caractérisations mécaniques in situ au SEM à différentes températures afin d'explorer les processus de fissuration et de délamination.
- Relier les résultats obtenus à la structure et au procédé de dépôt des films pour identifier les mécanismes critiques de formation des fissures.

L'offre :

- Projet multidisciplinaire couvrant la science des matériaux, la mécanique et les nanotechnologies.
- Développement d'outils expérimentaux de pointe pour la microscopie et les caractérisations mécaniques.
- Collaboration étroite entre université et industrie.
- Laboratoire multiculturel et dynamique.

Votre profil :

- Master en physique, science des matériaux, mécanique ou disciplines similaires.

Informations et candidature :

Pour plus d'informations et pour candidater, merci d'envoyer votre CV et vos relevés de notes (Licence et Master) à Dr. Matteo Ghidelli (matteo.ghidelli@lspm.cnrs.fr) et à Dr. Alessandro Benedetto (Alessandro.Benedetto@saint-gobain.com).