

## Cordons, échelles ou réseaux ?

### De l'instabilité des couches minces aux morphologies de cloques

J.-Y. FAOU<sup>a</sup>, S. GRACHEV<sup>b</sup>, G. PARRY<sup>c</sup> et E. BARTHEL<sup>d</sup>

a. Saint-Gobain Recherche, Aubervilliers, France

b. Solar Gard Saint-Gobain, San Diego, USA

c. SIMAP UMR CNRS-UJF-INPG 5266, Grenoble France

d. SIMM ESPCI Paris PSL/CNRS/Sorbonne Université, Paris, France - etienne.barthel@espci.fr

Les couches minces soumises à de fortes contraintes résiduelles de compression et affectées d'une faible adhésion sont susceptibles de cloquer : cet intéressant problème couple la mécanique des plaques, non linéaire, à la rupture d'adhésion, tout aussi non linéaire, et produit une grande variété de morphologies de cloques, dont la plus célèbre, le cordon de téléphone, est loin d'être la plus intrigante...

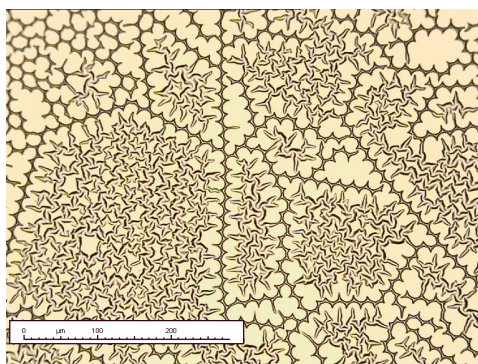


FIGURE 1 – Les morphologies obtenues par instabilité de cloquage sont parfois intrigantes – ici un film mince de molybdène sur du verre.

Nous avons mené une étude expérimentale des morphologies de cloquage d'un système modèle : le film sous contrainte est une couche de molybdène d'épaisseur variable (de 50 à 300 nm) siège d'une contrainte equibiaxiale montant jusqu'à près de 3 Gpa [1] tandis que l'adhésion est obtenue par une mince couche d'argent d'une épaisseur d'environ 10 nm, déposée avant le film. Explorant ainsi une large gamme de conditions de flambage, nous avons pu observer le classique cordon de téléphone mais aussi des morphologies plus exotiques : échelles de perroquet, cloques fourchues, hexagones... Nous avons exploré le diagramme de phase de ces morphologies en fonction de la contrainte et de l'épaisseur du film et nous avons également modélisé la formation de ces cloques. Les non-linéarités de flambage du film sont prises en compte par un modèle numérique (éléments finis) dans lequel l'adhésion du film est représentée par une zone cohésive. Nous montrons que nous pouvons reproduire les morphologies de flambage observées à condition de prendre en compte la dépendance de la ténacité interfaciale en la mixité (traction- cisaillement) du chargement [2]. Nous avons également démontré numériquement que la période des cordons de téléphone est directement liée à l'énergie d'adhésion en mode I : en pratique, cela signifie que les énergies d'adhésion des couches minces peuvent être mesurées avec une certaine précision à partir de cette observation [3]. Enfin, nous étudions d'autres morphologies et en particulier les motifs résultant de la bifurcation des cloques [4] ainsi que leur mise ordre à travers les interactions latérales entre cordons (en cours).

### Références

- [1] Faou J.-Y. et al., Stress tuning in sputter-deposited MoOx films, *Thin Solid Films*, 527 (2013) 222–226.
- [2] Faou J.-Y. et al., How Does Adhesion Induce the Formation of Telephone Cord Buckles ?, *Phys. Rev. Lett.*, 108 (2012) 116102.
- [3] Faou, J.-Y., Parry, G., Grachev, S. and Barthel, E., Telephone cord buckles-A relation between wavelength and adhesion, *J. Mech. Phys. Solids*, 75 (2015) 93–103.
- [4] Faou, J.-Y., Barthel, E., Grachev, S. and Parry, G., From telephone cords to branched buckles : A phase diagram, *Acta Mater.*, 125 (2017) 524–531.