

Optimisation de la mesure de capacité électrique locale absolue par microscopie à force atomique à sonde conductrice



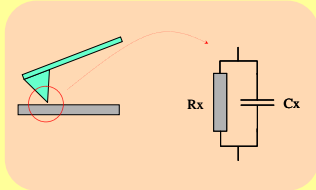
I. Estevez^{1,2}, P. Chrétien¹, O. Schneegans¹ et F. Houzé¹

¹LGEP - UMR 8507 CNRS - Supélec - Universités Paris VI et Paris XI - 91192 Gif-sur-Yvette France

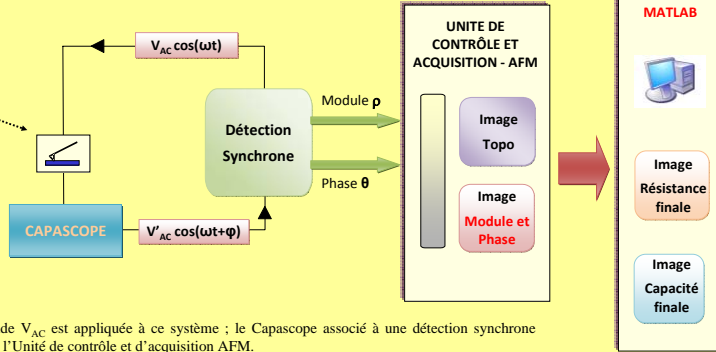
²Concept Scientifique Instruments - 91940 LES ULIS



DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL



L'interface pointe / échantillon est assimilable à une résistance Rx et une capacité Cx en parallèle.



Pour accéder à Rx et Cx, une tension sinusoïdale d'amplitude V_{AC} est appliquée à ce système ; le Capascope associé à une détection synchrone permettent la constitution d'images de module et de phase par l'Unité de contrôle et d'acquisition AFM. Les images de Résistance et Capacité finales sont obtenues par post-traitement Matlab.

Pointes : Conductrices ($k=2N/m$) (diamant dopé sur Si dopé)

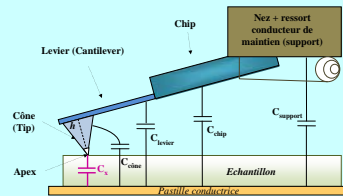
Tensions appliquées : $0 \leq V_{AC} \leq 70mV$

Fréquences : $f \in [10 \text{ kHz} - 20 \text{ kHz}]$

Vitesses de scan : 0.05 à 1 ligne/s

L'entrée du module Capascope peut être considérée comme un dipôle R_0/C_0 dont les composantes sont déterminées par calibration.

PROBLÉMATIQUE : CAPACITÉS PARASITES



$$C_{\text{totale}} = C_x + C_{\text{cône}} + C_{\text{cantilever}} + C_{\text{chip}} + C_{\text{support}}$$

Objectif : Mesure de C_x dans l'intervalle $[10^{-12} \text{ F} - 10^{-18} \text{ F}]$

Problème : $C_{\text{cône}} \approx 10^{-16} \text{ F}$
 $C_{\text{cantilever}} \approx 10^{-15} \text{ F}$
 $C_{\text{chip}} \approx 10^{-14} \text{ F}$
 $C_{\text{support}} \approx 10^{-13} \text{ F}$
 → Difficulté d'extraire la capacité réelle.

OPTIMISATIONS RÉALISÉES POUR LES MESURES DE CAPACITÉ

1 - Principe du double passage (mode interleave) :

Un premier passage ① permet d'enregistrer une image relative à $C_{\text{conduct}}(x,y) = C_x(x,y) + C_{\text{env}}(x,y,z=0)$

Un 2^{ème} passage ② permet d'enregistrer une image relative à $C_{\text{env}}(x,y,h)$

Par soustraction des deux images précédentes ③, on obtient $C_f(x,y)$, qui tend vers $C_x(x,y)$ si h suffisamment faible :

$$C_f(x,y) = C_x(x,y) + [C_{\text{env}}(x,y,z=0) - C_{\text{env}}(x,y,h)]$$

En pratique h ne peut pas être pris aussi petit que souhaitable, il faut donc trouver un moyen pour minimiser la contribution du terme entre crochets.

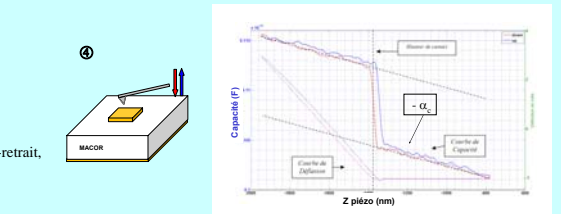
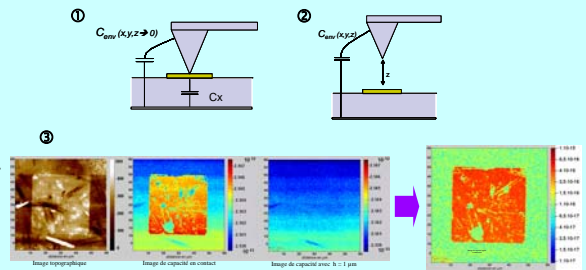
2 - Correction à partir des courbes approche-retrait :

Expérimentalement, la capacité d'environnement varie selon une loi linéaire ④ :

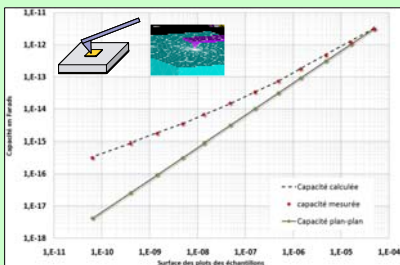
$$C_{\text{env}}(x,y,h \rightarrow 0) - C_{\text{env}}(x,y,h) = \alpha_c \cdot h$$

Si on prend en compte la pente α_c donnée par les courbes approche-retrait, on peut calculer $C_2(x,y)$, plus proche de $C_f(x,y)$ recherchée :

$$C_2(x,y) = C_f(x,y) - \alpha_c \cdot h$$

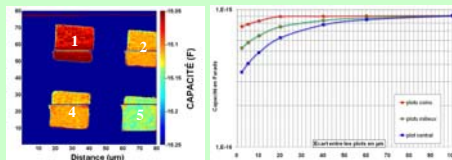


CAPACITÉS MESURÉES SUR DES STRUCTURES TESTS ET VALEURS ISSUES DE SIMULATIONS (ANSYS)



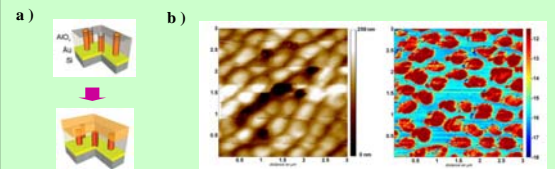
Accord entre mesures et valeurs théoriques calculées, pour une série de plots dorés carrés de différentes tailles. On note l'écart avec la loi analytique classique $C = \epsilon \cdot S/e$, d'autant plus important que le plot est petit, en raison des effets de bords significatifs à ces dimensions. Il faut souligner qu'un calcul relatif aux seuls plots-armatures est insuffisant, et qu'il est indispensable de prendre en compte également la présence de la pointe, du levier et du chip.

Vue schématique d'un réseau test de capacités carrées plan/plan, constitué de plots d'or déposés sur un substrat de Macor® dont la sous-face est uniformément dorée.



A gauche : image capacitive d'un « coin » du réseau, incluant 4 plots : chaque plot donne un contraste spécifique lié au nombre de plots voisins, montrant l'extrême sensibilité du dispositif (les valeurs diffèrent entre elles de quelques dixièmes de femtofarad) A droite : Capacités du réseau, calculées par simulation (logiciel ANSYS), en fonction de l'éloignement mutuel des plots.

MESURES SUR UN ÉCHANTILLON « RÉEL » : NANOFILS DE CUIVRE



a) Schéma de la structure d'un échantillon de nanofils de cuivre : les fils sont parallèles entre eux, connectés à une électrode inférieure en or. En face supérieure les sections des fils sont recouvertes par une couche d'alumine d'épaisseur 1 nm.

b) Images topographique et capacitive d'une zone de la surface. Les sommets des fils sont bien visibles sur l'image capacitive.

c) Distribution des valeurs de capacités de l'image capacitive de b). Le pic de distribution autour de 10^{-12} F est relatif aux sommets des nanofils.

PERSPECTIVES

- Etude de la capacité d'environnement afin d'en définir un comportement type (essais en atmosphère contrôlée).
- Elaboration de sondes spécifiques adaptées à ce type de mesures.
- Valorisation du module avec la société CSI (subvention Centre Francilien d'Innovation / OSEO)