



HAL
open science

Mise au point de protocoles expérimentaux et de méthodes d'analyse des données pour les échantillons de référence destinés à étalonner les mesures électriques à l'échelle nanométrique

Pascal Chrétien, François Piquemal, Frédéric Houzé, José A. Morán-Meza, Christian Ulysse, Abdelmounaim Harouri

► To cite this version:

Pascal Chrétien, François Piquemal, Frédéric Houzé, José A. Morán-Meza, Christian Ulysse, et al.. Mise au point de protocoles expérimentaux et de méthodes d'analyse des données pour les échantillons de référence destinés à étalonner les mesures électriques à l'échelle nanométrique. 26ème Forum des microscopies à sonde locale, Mar 2025, Spa, Belgique. pp.111-112. <hal-05023844>

HAL Id: hal-05023844

<https://centralesupelec.hal.science/hal-05023844v1>

Submitted on 7 Apr 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Mise au point de protocoles expérimentaux et de méthodes d'analyse des données pour les échantillons de référence destinés à étalonner les mesures électriques à l'échelle nanométrique

Pascal Chrétien^{1,2}, François Piquemal³, Frédéric Houzé^{1,2}, José Morán-Meza³,
Christian Ulysse⁴, Abdelmounaim Harouri⁴

¹Laboratoire de génie électrique et électronique de Paris (GeePs), Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Gif-sur-Yvette (France)

²Laboratoire de génie électrique et électronique de Paris (GeePs), Sorbonne Université, CentraleSupélec, CNRS, Gif-sur-Yvette (France)

³Laboratoire national de métrologie et d'essais - LNE, Trappes (France)

⁴Centre de nanosciences et de nanotechnologies - C2N, Université Paris-Saclay, CNRS, Palaiseau.

La microscopie à force atomique à pointe conductrice (C-AFM) est devenue une technique largement utilisée dans de nombreux domaines pour mesurer la résistance et le courant électrique à l'échelle nanométrique. Malgré la diversité d'approches existantes, la communauté n'avait, jusqu'à très récemment, aucun moyen d'étalonner ces instruments de mesure, ni de comparer leurs résultats d'un laboratoire à un autre. Pour répondre à ce besoin, nous avons récemment proposé des échantillons de référence spécifiquement conçus pour étalonner l'ensemble du circuit de mesure C-AFM sur une large gamme de 9 décades de résistance et de courant, de 1 k Ω à 1 T Ω et de 10 fA à 10 μ A, respectivement [1,2].

Lors du Forum 2024, nous avons présenté des premières séries de résultats montrant notamment l'influence des pointes AFM (matériaux, usure...) sur la qualité de telles mesures [3]. En nous appuyant sur de nouvelles investigations, nous mettons cette année en lumière les conditions opératoires et les méthodes d'analyse des données qui ont été élaborées pour tirer le meilleur parti de ces échantillons, tant en mode imagerie qu'en mode spectroscopie *I-V*. Les études présentées ont été réalisées à l'aide d'une configuration C-AFM basée sur un module de mesure électrique maison dénommé WiCMD (Wide range Current Measuring Device), qui fournit en temps réel des cartographies de résistance ou de courant, ainsi que des courbes *I-V*, sur une plage de 11 décades. Les recommandations que nous en tirons sont applicables par tout utilisateur de C-AFM : les échantillons et leur guide de bonnes pratiques associé pourraient ainsi constituer une sorte de « kit universel » ouvrant la voie à des mesures de résistance/courant à l'échelle nano fiables et comparables.

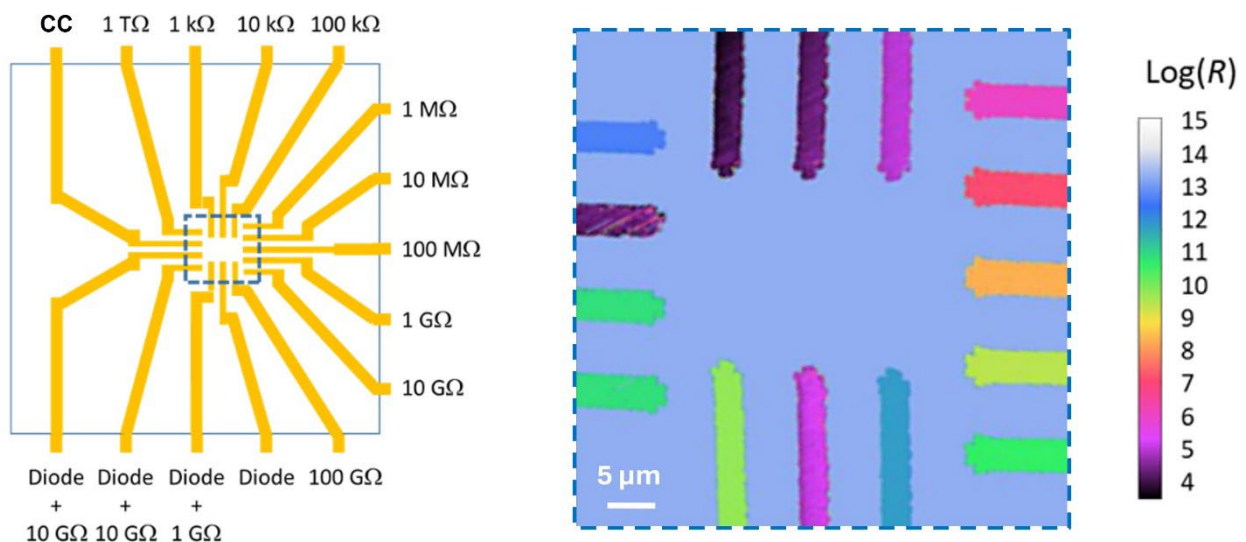


Figure 1 : À gauche : implantation des pistes reliées aux différents composants montés en surface sur l'échantillon dit « hybride » qui réunit des résistances (10 de décade en décade entre 1 k Ω et 1 T Ω) et une diode JFET pour l'étalonnage en courant ; une électrode « court-circuit » (CC) permet d'évaluer *in situ* la résistance de pointe ; le carré en pointillé bleu représente la zone d'intérêt à scanner. À droite : exemple de cartographie de résistance obtenue sur ce type d'échantillon, dans le cas de pistes en platine et d'une pointe revêtue de diamant dopé, pour une polarisation appliquée de +1V.

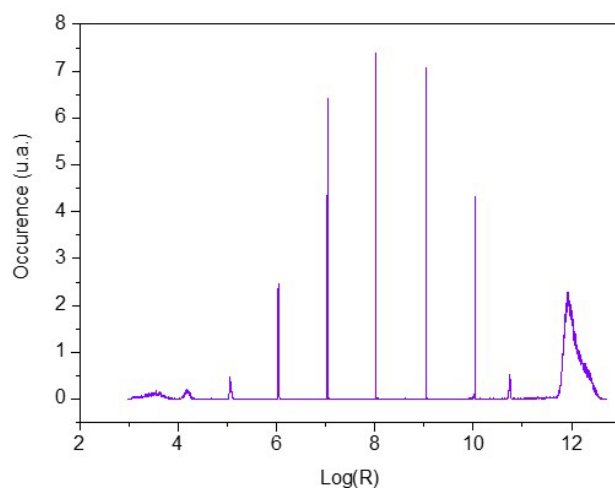


Figure 2 : Allure générale de l'histogramme de distribution des valeurs de $\text{Log}(R)$ tiré de l'image précédente, calculé pour les dix pistes reliées à des résistances et la piste de « court-circuit » (on a exclu les quatre pistes impliquant la diode). Les mesures C-AFM des résistances et les écarts-types associés sont obtenus par l'étude fine des histogrammes relatifs à chaque extrémité de piste.

Remerciements

Ces travaux de recherche ont été menés dans le cadre du projet ELENA (EMPIR 20IND12), soutenu par le programme européen de métrologie pour l'innovation et la recherche (EMPIR). Une part de ces travaux a été réalisée au sein des plateformes de micro nanotechnologies du C2N et a été en partie soutenue par le réseau RENATECH et le Conseil Général de l'Essonne.

Références

- [1] Piquemal, F. ; Kaja, K. ; Chrétien, P. ; Morán-Meza, J. ; Houzé, F. ; Ulysse, C. ; Harouri, A. *Beilstein J. Nanotechnol.* **2023**, *14*, 1141.
- [2] Piquemal, F. ; Chrétien, P. ; Morán-Meza, J. ; Houzé, F. ; Delvallée, A. ; Ulysse, C. ; Harouri, A. *Physica Status Solidi A* **2025**, *in press*.
- [3] Piquemal, F. ; Chrétien, P. ; Morán-Meza, J. ; Houzé, F. ; Ulysse, C. ; Harouri, A. *Actes du 25^{ème} Forum des Microscopies à sonde locale* **2024**, 154.