FORUM

DU 21 AU 25 MARS 2016
MUSÉE DE L'AVENTURE PEUGEOT
À SOCHAUX

DES MICROSCOPIES À SONDE LOCALE

www.sondeslocales.fr/forum2016

Programme scientifique Forum 2016

Lundi 21 mars

08h00 Accueil exposants et conférenciers

12h00 Buffet froid

13h00 Accueil exposants et conférenciers

15h15 Ouverture du forum

15h30 **David Albertini**, Réseau de Microscopies à Sonde Locale RéMiSoL

SESSION 1 – « ABSINTHE » – 15h50 - 17h05

15h50 **Josslyn Beltran Madrigal**, LNIO Institut Charles Delaunay CNRS UMR 6281, Université de Technologie de Troyes.
Etude de la densité locale des modes guidés dans une structure en optique intégrée sur verre par microscopie optique en champ proche

16h15 **Céline Fiorini**, SPEC CEA CNRS Université Paris Saclay. Sondes Actives pour la microscopie optique en champ proche à haute résolution (Samiré)

16h40 **Yinping Zhang**, LNIO Institut Charles Delaunay CNRS UMR 6281, Univeristé de Technologie de Troyes.
Spatial localization of hot spots in a complex plasmonic nanostructure, as probed by molecular nanomotors and atomic force micro

17h05 Pause

SESSION 2 – « GENTIANE » – 17h30 – 18h20

17h30 **Bruker**

17h38 **JPK**

17h46 **Keysight**

17h54 **Oxford Instruments**

18h02 **Horiba**

18h10 **Elexience**

18h20 Posters

19h15 Apéritif de bienvenue

20h00 Diner

Mardi 22 mars

SESSION 3 – « CANCOILLOTTE » – 8h30 - 10h20

08h30 **Thierry Grosjean**, Institut FEMTO-ST CNRS UMR 6174.
Cours : Les nano-antennes pour la microscopie SNOM

9h30 **Florence Blachon**, Institut Lumière Matière UMR 5306, Université Lyon 1. Structure des membranes lipidiques sur des surfaces rugueuses

9h55 **Jose Moran Meza**, SPEC CEA CNRS Institut Curie Université Paris-Saclay. Étude de l'interaction anticorps-antigène OVA par AFM : vers la détection de cibles aux faibles concentrations

10h20 Pause

SESSION 4 – « PASTEUR » – 10h45 - 12h00

10h45 **Alexis Borowiak**, LSPM UPR 3407 CNRS Sorbonne Paris Cité Université Paris 13. Nanoscale switching dynamics studies of domain growth in polycrystalline ferroelectric thin films

11h10 **Ingrid Cañero Infante**, SPMS Laboratory UMR 8580 CNRS & Centrale Supelec Université Paris Saclay, Materials Research and Technology Department LIST. Investigating the polar features in antiferroelectric-based systems using piezoresponse force microscopy

11h35 **Aymeric Vecchiola**, Unité Mixte de Physique CNRS-Thales UMR 137. Imagerie de résistance électrique locale sur matériaux fragiles par AFM à pointe conductrice en mode contact intermittent

12h00 Déjeuner

SESSION 5 – « SAVAGNIN » – 14h00 - 15h40

14h00 **Thomas Demonchaux**, IEMN UMR 8520 CNRS Département ISEN. Imagerie par effet tunnel de complexes d'antisite d'arsenic et phosphore dans du GaAs épitaxié à basse température

14h25 **Benoit Eydoux**, CEMES CNRS UPR 8011 Université de Toulouse III. Observation d'un complexe de ruthénium(III) par STM à basse température et interprétation théorique

14h50 **Sara Freund**, Département de Physique Université de Bâle. Étude nc-AFM d'îlots de C60 formés sur un cristal moléculaire organique

15h15 **Julien Granet**, Institut Jean Lamour UMR 7198 CNRS, Université de Lorraine. Etude de l'effet Kondo dans des molécules à base de cérium adsorbées sur des surfaces métalliques

15h40 Pause

SESSION 6 – « GUSTAVE » – 16h05 - 17h20

16h05 **Simon Carpentier**, Institut Néel CNRS Université Grenoble Alpes. Measurement of mechanical properties of soft matters without contact by Force Feedback Microscope

16h30 **Anne Le Cunuder**, Ecole Normale Supérieure de Lyon. Contrôle du temps de relaxation d'un levier AFM

16h55 **Fatah Maloum**, Institut FEMTO-ST Département MN2S Département Mec'Appli. Vers la caractérisation mécanique des matériaux anisotropes par microscopie à pointe vibrante

SESSION 7 – « ROESTIS » – 17h20 - 18h00

17h20 **Nanosurf**

17h28 **Scientec**

17h36 **SPECS**

17h44 **Nano And More**

17h52 **AxessTech**

18h00 **Vib-Et-Tec**

18h10 Posters

19h30 Temps libre

20h00 Diner

Mercredi 23 mars

SESSION 8 – « TOUTCHE » – 8h30 - 10h20

08h30 **Sacha Loeve**, GIS UTSH (COSTECH/RECITS).
Cours : Champ proche et objectivité

9h30 **Hubert Klein**, CINAM UMR 7325 CNRS Campus de Luminy.
Détermination robuste de la conductance d'une molécule unique?

9h55 **Faycal Mechehoud**, IS2M UMR 7361 CNRS Université de Haute Alsace, LPC2ME Université d'Oran I Ahmed Benbella.
Croissance par voie électrochimique et propriétés magnétiques et topographiques de couches minces de Co sur Si(111)

10h20 Pause

SESSION 9 – « VICTOR » – 10h45 - 12h00

10h45 **Laurent Nony**, IM2NP UMR 7334 CNRS Université Aix-Marseille.
Couplage Df/courant tunnel en nc-AFM/STM : un nouveau paradigme

11h10 **Jean-Paul Salvetat**, CRPP CNRS.
Microscopie à force atomique en mode dynamique avec des sondes MEMS haute fréquence (>10MHz) - Application aux surfaces viscoélastiques

11h35 **Audrey Steinberger**, ENS Lyon Laboratoire de Physique CNRS Université Claude Bernard Université de Lyon.
Microrhéologie par sonde AFM fibrée

12h00 Déjeuner

SESSION 10 – « JESUS » – 14h00 - 15h40

14h00 **Rosine Coq Germanicus**, CRISMAT-LaMIPS Laboratoire Commun ENSICAEN UCBN NXP PRESTO UMR CNRS 6508.
Détection des états de surface à l'interface Si/SiO2 par balayages successifs en mode SSRM

14h25 **Hailu Gebru Kassa**, Laboratory for Chemistry of Novel Materials CIRMAP University of Mons.
Characterization of hybrid nanostructures for energy conversion and storage devices by atomic force microscopy techniques

14h50 **Simon Martin**, Institut des Nanotechnologies de Lyon INSA Lyon CNRS UMR 5270.
Caractérisation électrique de couches minces ferroélectriques à l'échelle nanométrique par PFM

15h15 **Jorge Trasobares**, IEMN CNRS & Université de Lille.
Molecular diode at 17 GHz studied by iSMM (interferometric scanning microwave microscope)

15h40 Pause

SESSION 11 – « VOUIVRE » – 16h05 - 17h20

16h05 **Rémy Pawlak**, Département de Physique, Université de Bâle.
Etude des propriétés tribologiques de molécules uniques

16h30 **Delphine Sordes**, GNS & MANA Satellite CEMES Université de Toulouse, CEA Tech Midi-Pyrénées Campus INSA.
Etude par un LT-UHV-4 STM d'une surface Si(100):H produite à partir d'un wafer 200 mm encapsulé par wafer bonding

16h55 **Benjamin Verlhac**, IPCMS UMR CNRS 7504 Université de Strasbourg.
Manipulation de spin d'une molécule par courant tunnel

17h30 Posters

19h00 Temps libre

20h00 Diner

Jeudi 24 mars

SESSION 12 – « GRIOTTINES » – 8h30 - 10h20

08h30 **Brice Gautier**, Institut des Nanotechnologies de Lyon INSA Lyon CNRS UMR 5270.
Cours : Caractérisation électrique des couches ultra-minces ferroélectriques : performance et limites de la microscopie champ proche en mode PFM

9h30 **Clemens Winkelmann**, Institut Néel CNRS Université Grenoble Alpes. Charge puddles in graphene near the Dirac point

9h55 **Gaolei Zhan**, Institut FEMTO-ST Département MN2S CNRS UMR 6174. Rôle des surfaces de Cu(111) et de Si(111)-B dans la formation d'auto-assemblages moléculaires par liaisons Halogène

10h20 Pause

SESSION 13 – « SOUFFLACULS » – 10h45 - 12h00

10h45 **Tran Phong Nguyen**, Institut FEMTO-ST CNRS UMR 6174.
Microscopie thermique par sonde locale thermoélectrique sur résonateur à quartz

11h10 **David Renahy**, INSA de Lyon CETHIL UMR CNRS 5008 Université de Lyon.
Un SThM dans un MEB en vue de l'investigation des paramètres d'influence des transferts thermiques à l'échelle nano.

11h35 **Abdelhak Saci**, Laboratoire TREFLE UMR 8508 Université de Bordeaux. Mesure de la conductivité thermique d'un nanofil de In3Sb3Te3 à changement de phases

12h00 Déjeuner

14h00 Visites / Temps libre

19h00 Présentation Nanocar Race CEMES - Peugeot

20h00 Diner de Gala

Vendredi 25 mars

SESSION 14 – « TUYÉ » – 09h00 - 10h15

09h00 **Ludovic Bellon**, Laboratoire de Physique ENS de Lyon CNRS Université de Lyon.
Mesure sans bruit du bruit thermique : application à la calibration de leviers raides

09h25 **Benjamin Besga**, Institut Néel UPR 2940 CNRS Université Grenoble Alpes.
Ultrasensitive and vectorial nanomechanical force field sensor

09h50 **Michel Drouet**, Institut Pprime UPR 3346 CNRS ISAE-ENSMA SP2MI Université de Poitiers.
Déstabilisation de marches vicinales induite par déformation plastique

10h15 Pause

SESSION 15 – « CUVIER » – 10h40 - 11h30

10h40 **Christina Villeneuve Faure**, Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie UPS INPT Université de Toulouse.
Méthodologie pour la mesure de charges d'espace par microscopie à sonde de Kelvin (KPFM)

11h05 **Bruno Bresson**, Laboratoire SIMM ESPCI CNRS UMR 7615 Université Paris 6.
Picometer-scale surface roughness measurements inside hollow glass fibres

11h30 Clôture

11h45 Buffet froid

Table des matières

Avant-propos 1

Comité scientifique et Comité d'organisation 3

Communications orales

Session 1 « Absinthe » - Lundi 21 Mars, 15h50 - 17h05 **4**

Session 2 « Gentiane » - Lundi 21 Mars, 17h30 - 18h10 **8**

Session 3 « Cancoillotte » - Mardi 22 Mars, 8h30 - 10h20 **16**

Session 4 « Pasteur » - Mardi 22 Mars, 10h45 - 12h00 **20**

Session 5 « Savagnin » - Mardi 22 Mars, 14h00 - 15h40 **24**

Session 6 « Gustave » - Mardi 22 Mars 16h05 - 17h20 **29**

Session 7 « Roestis » - Mardi 22 Mars, 17h20 - 18h00 **33**

Session 8 « Toutché » - Mercredi 23 Mars, 8h30 - 10h20 **41**

Session 9 « Victor » - Mercredi 23 Mars, 10h45 - 12h00 **45**

Session 10 « Jésu » - Mercredi 23 Mars, 14h00 - 15h40 **49**

Session 11 « Vouivre » - Mercredi 23 Mars, 16h05 - 17h20 **54**

Session 12 « Griottines » - Jeudi 24 Mars, 8h30 -10h20 **58**

Session 13 « Soufflaculs » - Jeudi 24 Mars, 10h45 - 12h00 **62**

Session 14 « Tuyé » - Vendredi 25 Mars, 9h00 - 10h15 **67**

Session 15 « Cuvier » - Vendredi 25 Mars, 10h40 - 11h05 **71**

Communications par affiches

Sessions Posters « Peugeot » Lundi 21 - Mardi 22 - Mercredi 23 Mars **74**

Liste des participants **105**
Liste des exposants **110**

Avant Propos

Pour la première fois, la Franche-Comté va accueillir le forum des microscopies à sonde locale du 21 au 25 Mars 2016. Vous aurez le privilège de passer quelques jours dans un environnement exceptionnel, au cœur même du Musée de l'Aventure Peugeot.

La tradition du Forum est bien évidemment respectée avec la réunion de l'ensemble de la communauté francophone des nanosciences et des nanotechnologies durant 4 jours en un même lieu propice aux échanges conviviaux. Le conseil scientifique est toujours attentif à ce que « l'esprit du Forum » soit préservé. Ainsi les doctorants, les jeunes chercheurs et enseignants-chercheurs seront mis en avant. Cette année, 37 doctorants et post-doctorants présenteront leurs travaux. Au cours de la semaine, pas moins de 3 cours, d'une quarantaine d'oraux et près de 35 posters vous seront présentés dans des thématiques très variées (spectroscopie tunnel, bio, mesures électriques et thermiques, auto-assemblage, AFM …). Les thématiques sont regroupées dans des sessions dont le nom se rapporte aux spécificités Franc-Comtoises… saurez-vous les identifier ?

Cette année, à l'initiative du comité d'organisation, il y aura également quelques nouveautés. Nous vous proposons pour la première fois au sein du forum une intervention en Sciences Humaines et Sociales. Il nous a semblé intéressant d'intégrer une pointe d'épistémologie au sein de notre communauté. Cela se fera au travers de l'intervention de Sacha Loeve qui nous proposera une réflexion sur « Champ proche et objectivité ». Nous sommes persuadés que cela passionnera tous les participants.

Le forum 2016 permettra d'assister à un événement exceptionnel puisque l'un des plus grands groupes industriels Français et grand acteur de la recherche du secteur privé sera présent montrant tout l'intérêt qu'il porte aux nanosciences et à notre communauté. En effet nous aurons le plaisir d'assister à l'annonce officielle du « sponsor » par PSA Peugeot Citroën de la « nano car » Française, développée au CEMES, pour la « nanocar race », la première course internationale de molécules-voitures.

Le Jeudi après-midi sera consacré au temps libre, aux visites industrielles et culturelles avant le traditionnel repas de Gala.

Les exposants industriels ont une fois de plus répondu présents. Leur présence active participe aussi à la richesse et à l'intérêt de ce forum. Les stands seront

nombreux et situés au cœur des activités. Les exposants auront 2 sessions spécifiques et la possibilité de présenter leurs travaux dans la session poster. Certains exposants ont souhaité sponsoriser des tickets de boisson (Bruker, Vib et Tec et Nanosurf AG), les prix des meilleurs posters (Zurich Instrument) et celui du meilleur oral de doctorant (Axess Tech). Nous les en remercions vivement.

Le Forum 2016 n'aurait pas pu avoir lieu sans l'aide des institutions, des collectivités et des sociétés locales. Nous remercions tout particulièrement Pays Montbéliard Agglomération, FEMTO-ST, Labex Action, le RECITS, l'ENSMM, l'IUT de Belfort-Montbéliard, l'Université de Franche-Comté, C'Nano Grand Est, RéMiSol-CNRS, la région de Franche-Comté, CRISTEL, l'Office du tourisme du pays de Montbéliard, le pavillon des sciences et PSA Peugeot Citroën.

Le comité d'organisation, issu de l'institut FEMTO-ST, a beaucoup œuvré pour que l'ensemble des participants puisse être accueilli dans les meilleures conditions. Nous espérons que vous apprécierez cette nouvelle édition du Forum des microscopies à sonde locale 2016.

Pour le comité d'organisation : F. Chérioux et F. Palmino

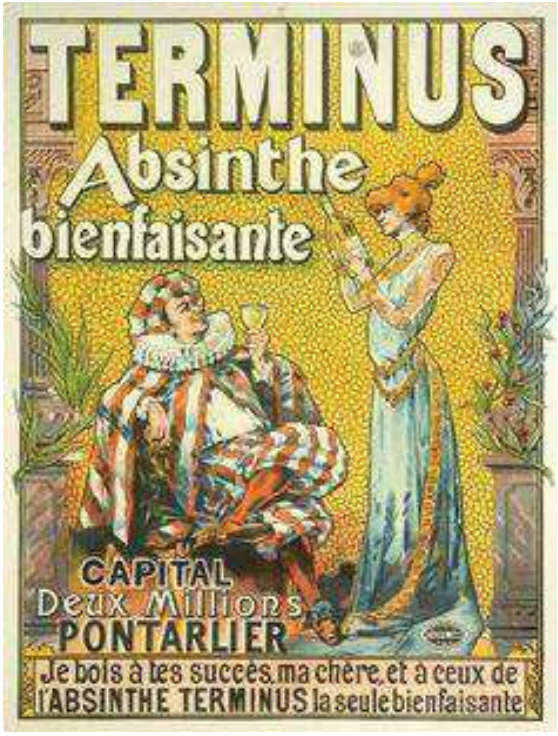
Comité scientifique

ALBERTINI David, *INL, Lyon*
BACHELOT Renaud, *LNIO, Troyes*
BELLON Ludovic, *LP, Lyon*
BOER-DUCHEMIN Elizabeth, *ISMO, Paris*
BOUJU Xavier, *CEMES, Toulouse*
BUCHER Jean-Pierre, *IPCMS, Strasbourg*
BUBENDORFF Jean-Luc, *IS2M, Mulhouse*
COHEN-BOUHACINA Touria, *LOMA, Bordeaux*
FIORINI Céline, *LEPO, Gif-sur-Yvette*
GRESILLON Samuel, *LPEM, Paris*
HACKENS Benoît, *IMCN/NAPS, Louvain-la-Neuve (B)*
KLEIN Hubert, *CINaM, Marseille*
LAFONT Frank, *MCICP, Lille*
LECLERE Philippe, *CNM, Mons (B*
MALLET Pierre, *Institut Néel, Grenoble*
MARIOLLE Denis, *CEA LETI, Grenoble*
MELIN Thierry, *IEMN, Lille*
MILHIET Pierre-Emmanuel, *CBS, Montpellier*
NYSTEN Bernard, *POLY, Louvain-la-Neuve (B)*
PALMINO Frank, *FEMTO-ST, Besançon*
PATRONE Lionel, *IM2NP, Toulon*
PIEDNOIR Agnès, *ILM, Lyon*
RAMONDA Michel, *LMCP, Montpellier*
VIE Véronique, *ICM, Rennes*
ZAMBELLI Tomaso, *LBB, Zurich (CH)*

Comité d'organisation

Pr. Frank PALMINO, *UFC / FEMTO-ST*
Dr. Frédéric CHERIOUX, *CNRS / FEMTO-ST*
Pr. Pascal VAIRAC, *ENSMM / FEMTO-ST*
Dr. Younes MAKOUDI, *UFC / FEMTO-ST*
Dr. Wael HOURANI, *UFC / FEMTO-ST*
Judicaël JEANNOUTOT, *CNRS / FEMTO-ST*

Session 1 « Absinthe » Lundi 21 Mars, 15h50 - 17h05



L'Absinthe, est un célèbre alcool à base de la plante du même nom, aussi nommée « fée verte ».

La capitale de l'absinthe était Pontarlier, ville franc-comtoise, jusqu'à son interdiction en 1908. Cette boisson était accusée de rendre fou ses consommateurs, entre autres Van Gogh, Toulouse-Lautrec…

Elle n'est de nouveau autorisée à la consommation que depuis 2011.

15h50 : **Josselyn Beltran Madrigal**, LNIO Institut Charles Delaunay CNRS UMR 6281, Université de Technologie de Troyes.
Etude de la densité locale des modes guidés dans une structure en optique intégrée sur verre par microscopie optique en champ proche

16h15 : **Céline Fiorini**, SPEC CEA CNRS Université Paris Saclay.
Sondes actives pour la microscopie optique en champ proche à haute résolution (Samiré)

16h40 : **Yinping Zhang**, LNIO Institut Charles Delaunay CNRS UMR 6281, Université de Technologie de Troyes.
Spatial localization of hot spots in a complex plasmonic nanostructure, as probed by molecular nanomotors and atomic force micro

Etude de la densité locale des modes guidés dans une structure en optique intégrée sur verre par microscopie optique en champ proche

Josslyn BELTRAN-MADRIGAL(1), Rafael SALAS-MONTIEL(1), Christophe COUTEAU(1), Florent GARDILLOU(2), Denis BARBIER(2), et Sylvain BLAIZE(1)

(1) Laboratoire de Nanotechnologie et d'Instrumentation Optique, Institut Charles Delaunay – CNRS UMR 6281, Université de Technologie de Troyes, 12 rue Marie Curie, 10004, Troyes, France.

(2)Teem Photonics, 61 chemin du Vieux Chêne, 38240, Meylan, France.

La densité locale de modes photoniques (LDOS) [1] est une quantité physique d'extrême importance en nanophotonique. Elle permet de décrire la relation entre le champ électromagnétique généré et rayonné par une source de courant en un point. La quantité de densité de puissance rayonnée par une même source de courant ponctuelle dépend du milieu environnant. Par exemple, si on place un émetteur quantique à proximité d'une cavité optique résonnante ou à proximité d'un guide d'ondes, le taux d'émission spontanée de l'émetteur quantique sera modifié et, dans certains cas exalté, par rapport à au taux d'émission de ce même émetteur placé dans un milieu homogène. Le facteur d'exaltation est connu par le nom de facteur de Purcell en honneur à E.M. Purcell qui montra l'influence du milieu environnant dans le taux d'émission des atomes [2].

Traditionnellement, la microscopie de champ proche optique à sonde diffusante (sNSOM par ses sigles en anglais), est utilisée pour collecter, en champ lointain par un microscope confocal, le champ électromagnétique diffusé localement par une sonde de type microscope à force atomique (AFM) (mode diffusion Fig 1b). Réciproquement, une expérience sNSOM peut être utilisée pour sonder la LDOS en assimilant la sonde AFM à un dipôle électrique ponctuelle et en collectant en champ lointain le champ électromagnétique émise par cette sonde (mode illumination Fig 1b). Dans cette étude, nous avons montré une mesure de la densité locale des modes guidés (LDOM) dans une structure hybride sur verre. Cette structure comprend une couche mince à haut indice de réfraction (TiO_2) placée sur un guide d'ondes à échange d'ions sur verre (Fig. 1a).

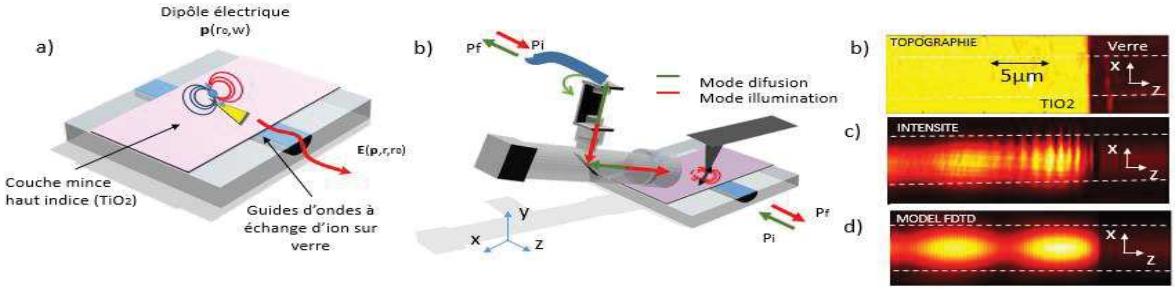


Fig. 1. a) Couplage entre l'émission d'un dipôle électrique et les modes guidés dans une structure en optique intégrée sur verre. b) Mode diffusion et mode illumination sur le système aSNOM. d) Topographie de la structure étudiée, c) cartographie d'intensité du champ électromagnétique rayonnée par la sonde AFM et collectée en champ lointain via le guide d'ondes et d) model réalisé par la méthode de FDTD.

Nos résultats expérimentaux montrent une modification de la LDOM lorsque la sonde AFM est placée sur la couche mince de TiO_2 et sur le guide (Fig 1b et 1c). Ces résultats indiquent un couplage efficace entre la lumière issue de la sonde et les modes guidés du composant intégré. Les cartographies de LDOM sur notre structure sont expliquées par des calculs réalisés par la méthode de différences finies en régime temporelle (Fig 1d).

L'utilisation d'une nanostructure plasmonique supportant des plasmons polaritons de surface au dessus de la couche de TiO_2 permettrait de renforcer le facteur de Purcell et de réaliser une source efficace à photon unique intégrée dans un circuit photonique.

Remerciements : Nous remercions la région Champagne Ardenne (projet PLASMOBIO), le LABEX Action (ANR-11-LABX-01-01) et l'ANR Sinphonie (ANR- 12-NANO-0019) pour leur support financier.

Références

[1] Carminati R., Cazéb A., et al. *Surface Science Reports* **70**, 1-41, **2015**.

[2] E. M. Purcell. Spontaneous emission probabilities at radio frequencies. *Phys. Rev.*, **69**,11 - 12, **1946**.

Sondes Actives pour la microscopie optique en champ proche à haute résolution (Samiré)

Céline FIORINI-DEBUISSCHERT[1], Patrick HSIA[1], Simon VASSANT[1], Ludovic DOUILLARD[1], Fabrice CHARRA[1], Anu SINGH BISHT[2], Sylvain BLAIZE[2], Renaud BACHELOT[2], Wajdi HENI[3], Olivier SOPPERA[3], Vincent PARAT[4], Brahim DAHMANI[4]

[1] SPEC, CEA, CNRS, Université Paris Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex
[2] UTT-LNIO, ICD-CNRS UMR 6281, 12 rue Marie Curie CS 42060 10004 TROYES Cedex
[3] PHOTON / IS2M 15 rue Jean Starcky, 68057 MULHOUSE Cedex
[4] LovaLite, 7 rue Xavier Marmier, 25000 Besançon

Les différents besoins des nanotechnologies imposent d'atteindre des résolutions sans cesse accrues. Bien que différentes techniques de microscopies à sonde locale soient aujourd'hui disponibles (AFM, STM …), des techniques optiques hautement résolues manquent : en biologie notamment ou pour développer de nouveaux champs d'applications utilisant des nanocomposants basés sur des processus opto-électroniques locaux ou moléculaires …

Financé par l'ANR, le projet SAMIRé concerne la mise en œuvre d'un concept innovant de sondes SNOM dites actives utilisant un processus original d'auto-assemblage ne nécessitant aucune étape de nanopositionnement ou de collage. [1] Ce concept, appelé nanoSHG utilise le champ électrique présent au niveau de la jonction d'un microscope à effet tunnel (STM), pour orienter localement un petit nombre de molécules et ainsi générer un signal de second harmonique (SH) intrinsèquement localisé [2]. De premières images d'échantillons structurés à l'échelle nanométrique ont pu être obtenues (*figure ci-dessous*). Afin d'aboutir à la fabrication de sondes actives solides auto-supportées, nous travaillons actuellement à exploiter le savoir-faire développé lors d'une collaboration préalable entre le LNIO et l'IS2M qui ont notamment démontré qu'une exaltation locale de champ pouvait être mise à profit pour dépasser localement le seuil nécessaire au démarrage d'un processus de photopolymérisation, permettant ainsi d'aboutir à un enrobage anisotrope extrêmement localisé de nano-objets métalliques [3].

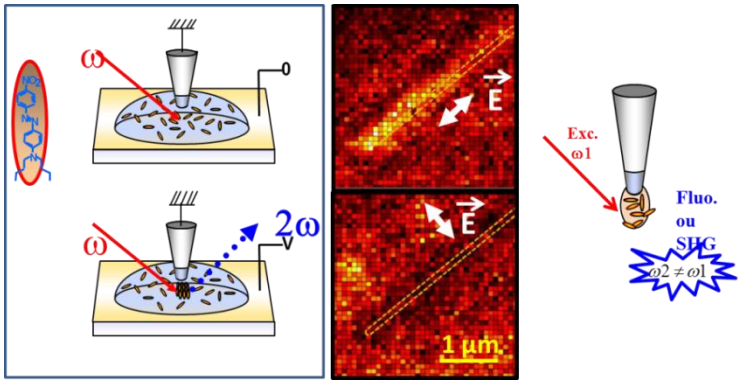


Figure 1 : <u>*Gauche :*</u> Principe dit de nanoSHG : (Haut) en l'absence de champ électrique entre pointe et substrat, les molécules nonlinéaires (schématisées par des ellipses) sont distribuées de façon isotrope et aucun signal de SHG n'est observé (Bas) Dès qu'une tension est appliquée, la présence d'un fort champ électrique entre la pointe et le substrat entraine une orientation localisée des molécules, donnant lieu à un signal de SHG. <u>*Centre :*</u> Preuve de concept : premières images nanoSHG de nanofils d'or lithographiés. <u>*Droite*</u> : schéma d'une sonde active autosoutenue résultant d'un processus de photopolymérisation localisé

Nous présenterons les études réalisées sur différents types de pointes modèles : nanotriangles lithographiés et nanofils colloidaux principalement. Les propriétés plasmoniques de ces objets ont fait l'objet de simulations numériques et de caractérisations par PEEM (microscopie de photoemission d'électrons) et TPL (luminescence à 2 photons). Les signatures observées en PEEM sont en très bon accord avec les simulations numériques, mettant clairement en évidence des effets d'interférences entre différents modes de plasmons polaritons se propageant au sein de nanotriangles. Ces études indiquent par ailleurs un « effet de pointe » extrêmement réduit, ce que confirment également les analyses TPL de ces nanotriangles. Dans le cas de nanofils colloidaux, les analyses TPL révèlent une très forte influence de la nature cristalline des objets sur les exaltations locales de champ générées en extrémités de pointe, ce qui ouvre de nouvelles perspectives. Enfin, dans le but d'avancer dans la compréhension des phénomènes physico-chimiques à l'origine de la photopolymerisation assistée par plasmon, une nouvelle méthodologie de polymérisation de nanoparticules sur grille TEM a été développée, nous en commenterons les premiers résultats.

Références

[1] C. Fiorini-Debuisschert, F. Charra, L. Douillard, « *Sonde active pour microscopie optique en champ proche et son procédé de fabrication* », brevet n° 12 51495 (2012).
[2] I. Berline et al. J. Appl. Phys.,104, #103113 (2008)
[3] C. Deeb et al., J. Am. Chem. Soc., 133(27),10535-42 (2011)

Spatial localization of hot spots in a complex plasmonic nanostructure, as probed by molecular nanomotors and atomic force microscopy

Yinping Zheng[1], Jérome Plain[1], Renaud Bachelot[1]

[1] *Université de Technologie de Troyes, CNRS ICD UMR 6281*
Laboratoire de Nanotechnologie et d'instrumentation Optique

Over the past decade, we have developed a photochemical imaging method to realize near-field control of electromagnetic field in plasmonic nanostructures [1-3]. In this method azobenzene-like molecules, covalently grafted onto a polymeric backbone, are used as optical nanomotors that act as local molecular probes of electromagnetic phenomena: azo molecules run away from hot spot areas along polarization direction. This local optically-induced motion is characterized by Atomic Force Microscopy.

On the occasion of the *forum de microcopies à sonde locale 2016*, we report the use of this unique method for visualizing tunable plasmonic hot spots at the gaps of plasmonic trimers. We have designed a nanotrimer that consists of three Au nanoparticles (Fig. 1, left). Different hot spots with different local positions have been observed and studied as a function of incident polarization and angles (cf. example on Figure 1, right). Interestingly, when the polarization of incident light is parallel to nanotrimer axis, a certain incident angle relative to nanotrimer axis induces a strong near-field enhancement in one nanogap while nullifying the near-field intensity in the other nanogap. In general, the localization of this hotspot also turns out to depend on the direction of the incident beam.

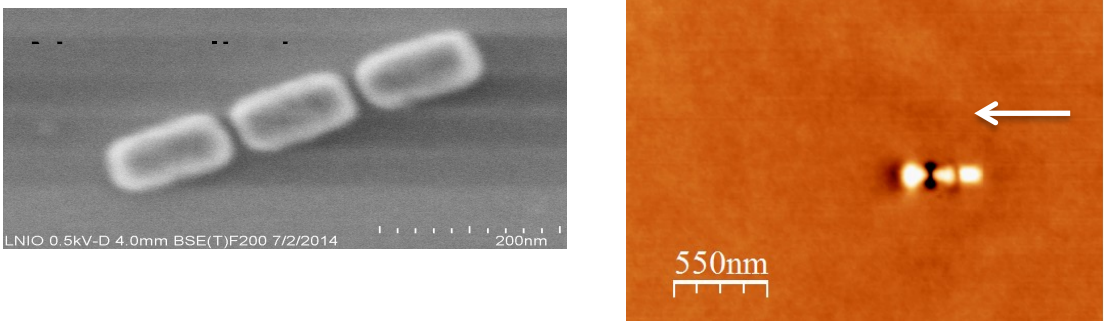


Figure 1. Left : electronic image of the plasmonic trimer. Right: AFM image of the optically-induced topography in the vicinity of the plasmonic trimer. The white arrow is the in-plane projection of the incident wavevector. The incident light that triggered the molecular motion (l=900 nm, 2-photon absorption of the azopolymer) was p-polarized. The left gap is a near-field enhanced area, the right gap is a weakly enhanced area.

The observations are interpreted in terms of plasmonic symmetric and antisymmetric mode balancing [4].

References

[1] C. Hubert et al. *Nano Letters* **2005** *5*, 615
[2] M. L. Juan et al. *ACS Nano* **2009** *3*, 1573
[3] M. Haggui et al. *ACS Nano* **2012** *6*, 1299
[4] A. Devilez et al. *PRB* **2010** *81*, 245128

Session 2 « Gentiane » Lundi 21 Mars, 17h30 - 18h10

Les gentianes sont des plantes sauvages protégées : leur cueillette et leur arrachage sont interdits.

On l'utilise dans l'industrie des arômes, la cosmétique, la thérapeutique ou encore dans la confection de boissons, en particulier en Franche-Comté.

En montagne, la tradition dit que la hauteur de sa tige atteinte en début d'été présage de la hauteur de neige l'hiver suivant.

17h30 : **Bruker**

17h38 : **JPK**

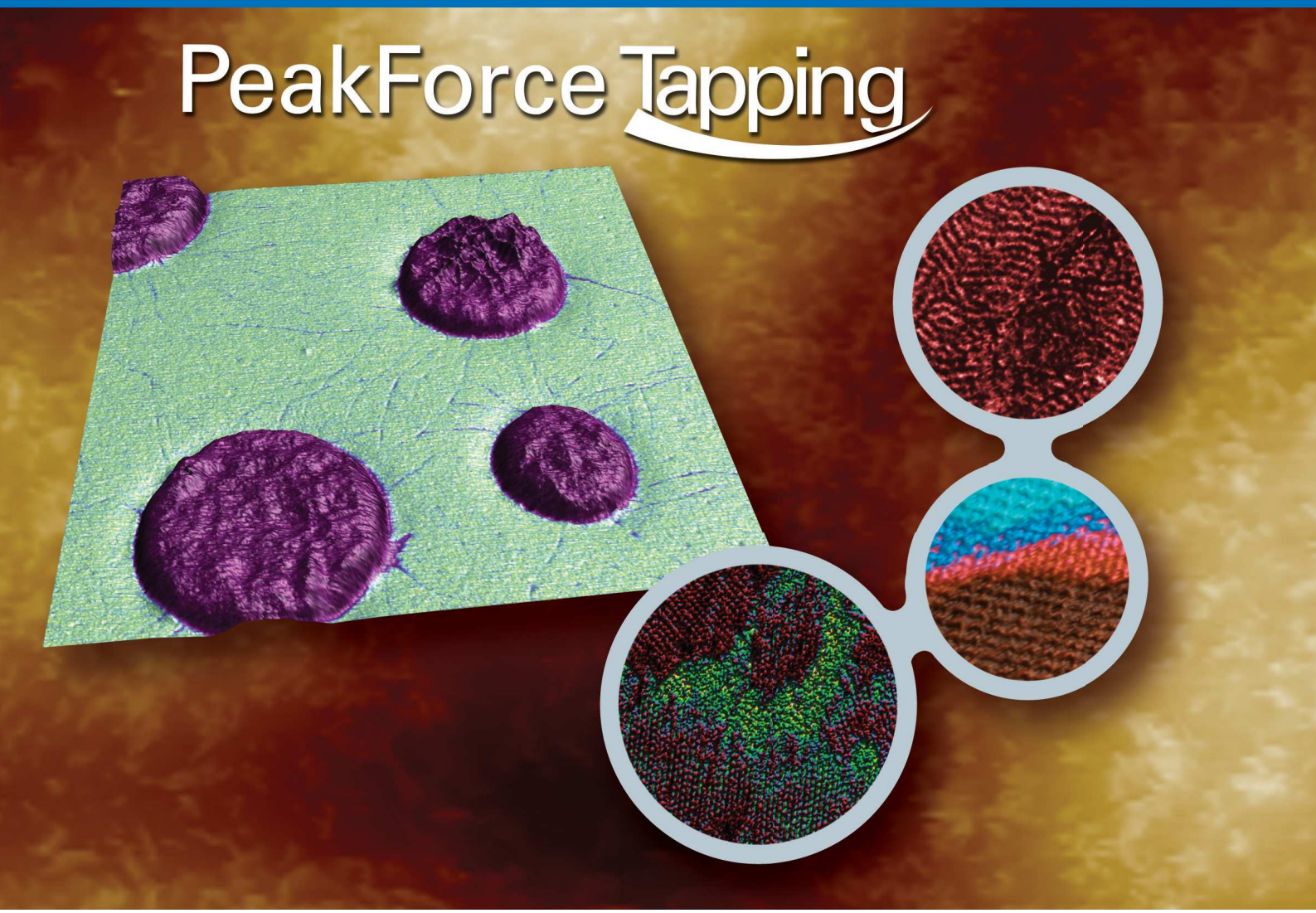
17h46 : **Keysight**

17h54 : **Oxford Instruments**

18h02 : **Horiba**

18h10 : **Elexience**

How AFM Should Be



Enabling scientists to make new discoveries

Bruker's exclusive PeakForce Tapping® utilizes pN force sensitivity to provide the highest resolution imaging and materials property data, revealing new possibilities in an ever expanding set of mechanical, electrical and chemical applications. These features, combined with its unmatched productivity and ease of use, have made PeakForce Tapping the world's principal AFM mode with the fastest growing publication record.

PeakForce Tapping — Superior Force Control

- Highest resolution, imaging and property mapping
- Quantitative, whatever you measure
- Easy to use, makes every user an AFM expert

Your research deserves the very best that AFM technology has to offer!

PEAKFORCE TAPPING publication rate:

One new peer reviewed publication every day.

Visit www.bruker.com/PeakForce_Tapping, email productinfo.emea@bruker.com or call 01.72.86.61.00 for more information.

Innovation with Integrity

From the pioneers of BioAFM

NanoWizard® 4 BioScience AFM

The latest generation AFM to answer advanced and complex questions in tomorrow's research.

Fast scanning up to 70 Hz line rate for tracking dynamic processes
Outstanding high-resolution quantitative imaging made easy
Industry-leading technology integrating optical microscopy in real time
Unique nanomechanics solutions for brilliant results
Fully flexible design with the widest range of modes & accessories

visit our web site: www.jpk.com
e-mail: nanowizard@jpk.com

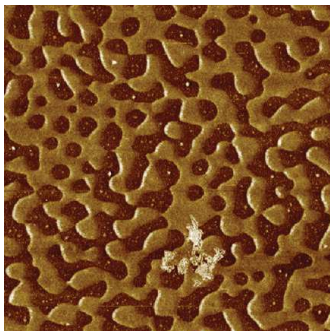
JPK Instruments

Nanotechnology for Life Science

Follow us on Facebook, Youtube and Linkedin.

Precision Microscopy & More

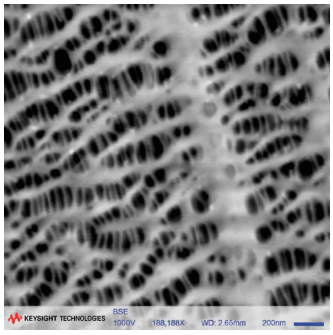
Keysight Technologies offers powerful and intuitive nanomeasurement instrumentation systems for scientists and engineers whose primary focus is on materials and life science research. Keysight is a leading global provider of advanced atomic force microscopes with full environmental control, as well as versatile, high-precision nanomechanical testing systems and a remarkable compact field-emission scanning electron microscope for low-voltage imaging that delivers fully integrated energy dispersive spectroscopy capabilities.



NEW! Ultrafast 9500 AFM

Keysight's new 9500 atomic force microscope seamlessly integrates new software, a new high-bandwidth digital controller, and a state-of-the-art mechanical design to deliver unrivaled scan rates for in-situ materials science, life science, and polymer science applications performed on the nanoscale.

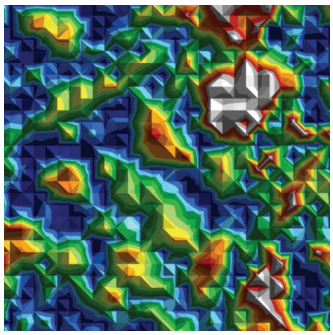
– Quick Scan technology enables scan rates up to 2 seconds per frame (256 x 256 pixels)
– Auto Drive feature automatically sets system parameters
– NanoNavigator software provides an efficient workflow-based GUI
– Superior environmental imaging in fluids, gases, and ambient conditions
– Single-pass electrical characterization and STM



Low-Voltage, Compact FE-SEM with EDS

Keysight's 8500B FE-SEM is the first compact field-emission scanning electron microscope designed to provide low-voltage, high-resolution imaging. This novel plug-and-play system also offers the analytical power of energy dispersive spectroscopy (EDS).

– Resolution and imaging equivalent to that of conventional FE-SEMs
– Fully integrated EDS capabilities allow quantitative elemental analysis
– Variable low voltage minimizes the need to coat samples
– Programmable X-Y-Z stage lets user set precise coordinates, scan, and save locations
– Electrostatic lens design ensures repeatable performance without constant re-tuning
– Compact size enables easy installation in any lab (no special facilities required)



High-Speed Nanoindentation via Express Test

Keysight's award-winning Express Test option implements traditional instrumented indentation in a totally revolutionary way, allowing our popular Nano Indenter G200 system to achieve unprecedented testing speeds.

– Completes up to 100 indents at 100 different surface sites in 100 seconds
– Rapidly evaluates Young's modulus and hardness on various materials
– Quickly generates quantitative maps of mechanical properties
– Performs area-function calibration in a matter of minutes

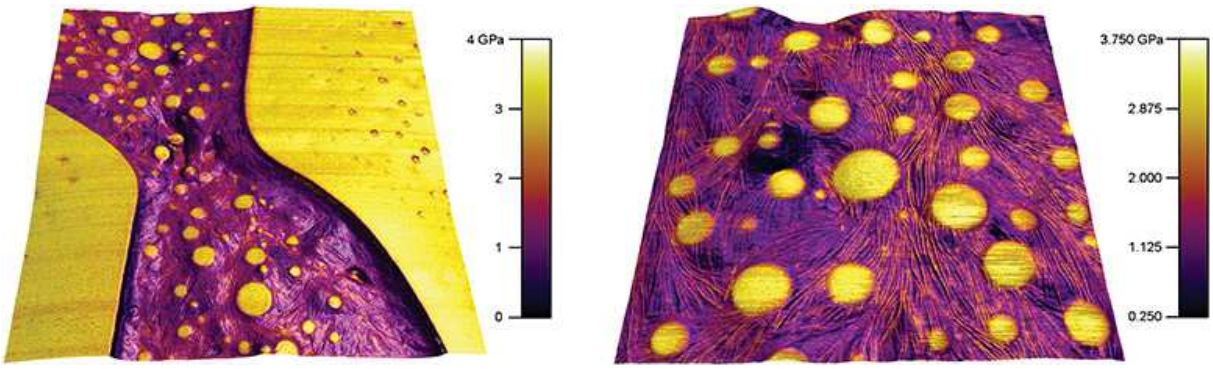
We invite you to learn more about our leading-edge microscopy and nanomeasurement solutions:

| **Phone: 0805 980333** | **contactcenter_france@keysight.com**

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

Agilent Nanomeasurement is now Keysight Technologies

About Asylum Research, an Oxford Instruments company :
Asylum Research is the technology leader in atomic force probe microscopy (AFM) for both materials and bioscience applications. Founded in 1999, we are dedicated to innovative instrumentation for nanoscience and nanotechnology, with over 300 years combined AFM/SPM experience among our staff. Asylum's MFP-3D family of AFMs as well as the highest resolution fast scanning AFM, the Cypher, are used for a variety of nanoscience applications in material science, physics, data storage and semiconductors, polymers, chemistry, biomaterials, and bioscience, including single molecule mechanical experiments on DNA, protein unfolding and polymer elasticity, as well as force measurements for biomaterials, chemical sensing, polymers, colloidal forces, adhesion, and more.



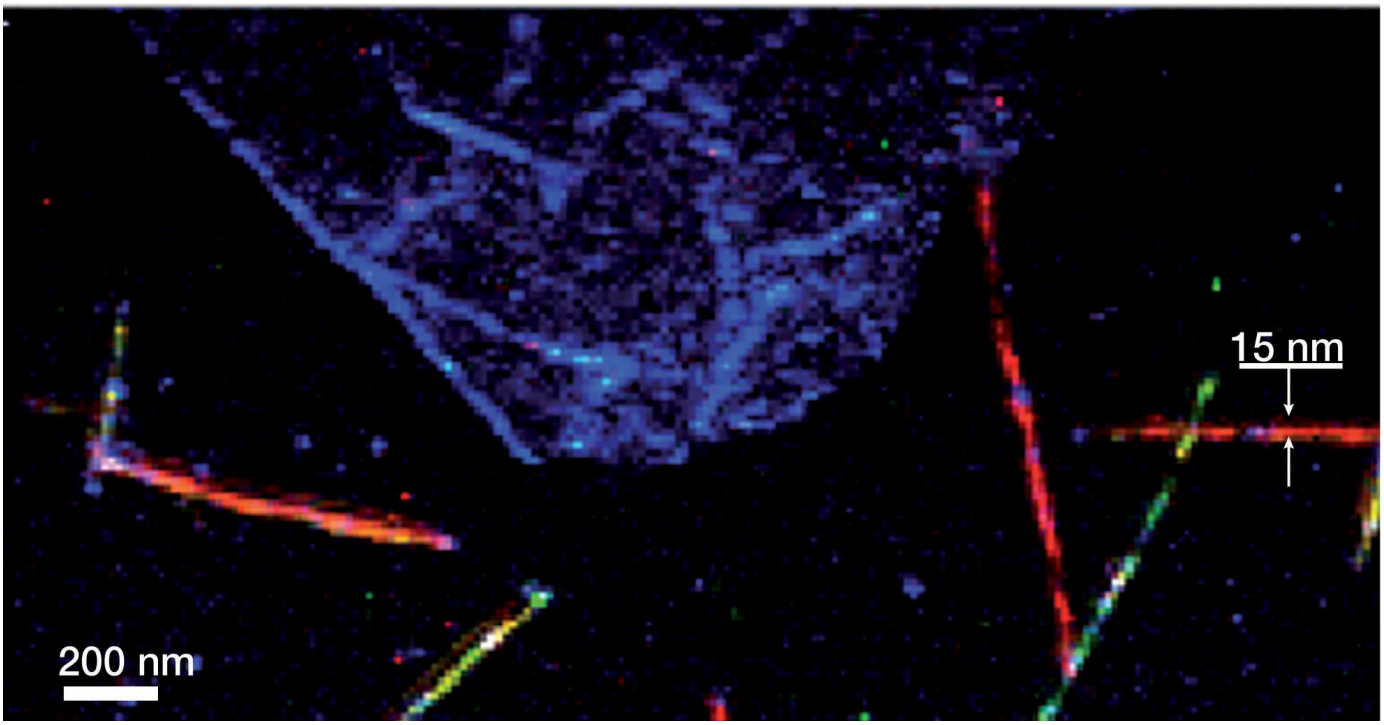
AM-FM modulus mapping on PS-PCL polymer blend using blueDrive photothermal excitation

AM-FM Viscoelastic Modulus Mapping of a polystyrene (PS) / polycaprolactone (PCL) polymer thin film on mica. Image was taken using blueDrive photothermal excitation on a Cypher S AFM at 2Hz. Scan sizes are 5µm (left) and 2µm (right).

HORIBA Scientific

JOBIN YVON Technology

Can Your Raman Do This?



High Speed & High Resolution Label-free Chemical Imaging

- Top, bottom & side illumination with high NA objective
- Objective scanner for a fine Raman laser alignment
- IR AFM diode (no interference with Raman signal)
- Auto-cantilever alignment and tuning
- Reliable TERS tip
- Integrated software

NanoRaman Made Easy!

horiba.com/scientific

info-sci.fr@horiba.com

ANALYSE THERMIQUE, DIFFRACTION X, FLUORESCENCE X, MICROANALYSE X, MICROSCOPIE A CHAMP PROCHE, MICROSCOPIE ELECTRONIQUE, PROFILOMETRIE 3D, TOMOGRAPHIE X, PREPARATION D'ECHANTILLONS & ACCESSOIRES

elexience
A Milexia company

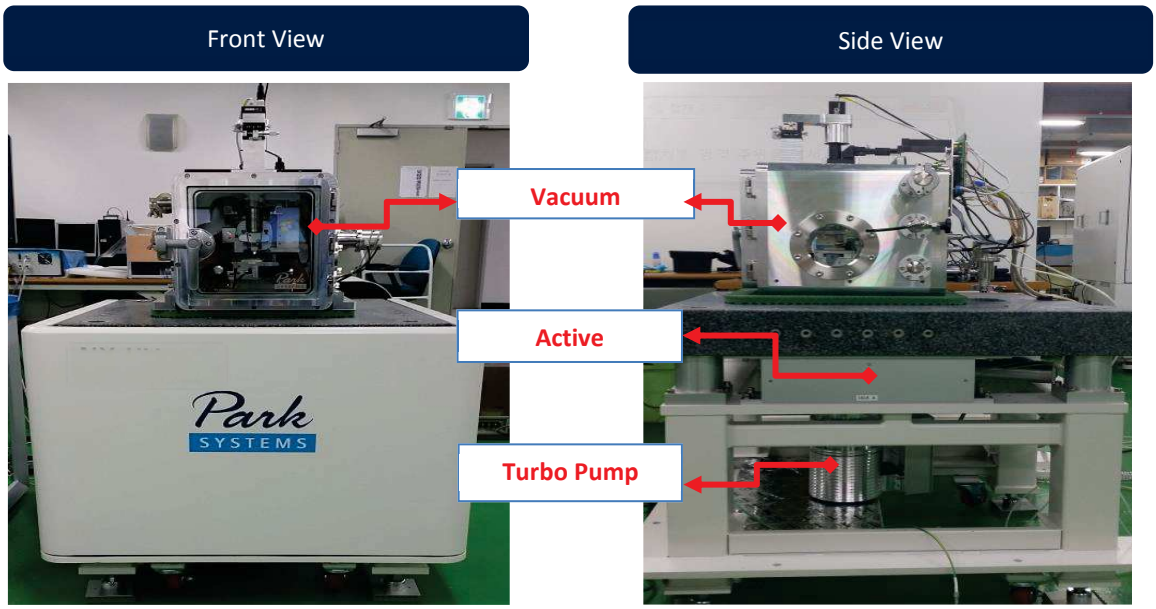
ELEXIENCE, partenaire de vos innovations

Créée en 1971, **ELEXIENCE** s'est lancée dans la distribution de composants Hyperfréquence et RF. En 1981, l'ouverture du **DEPARTEMENT INSTRUMENTATION SCIENTIFIQUE** étend les compétences d'**ELEXIENCE** à la distribution et au suivi d'équipements scientifiques destinés à la recherche, à la production et au contrôle-qualité.

Plus qu'un produit, Elexience vous propose une solution globale ! Conseils avant l'achat, démonstrations, installation et réception technique des équipements, formations sur sites ou dans nos locaux, maintenances préventive et curative, support applications.

Au sein du Département Instrumentation Scientifique le **Groupe Microscopie** vous propose une gamme complète d'instrumentations couvrant tout le domaine de la microscopie en champs proche.

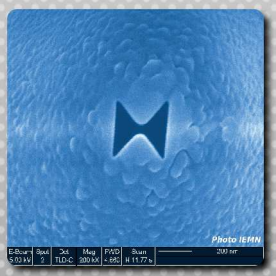
PARK SYSTEM présentera son nouvel équipement **NX-Hivac** :
Le **Park NX- HIVAC** permet aux ingénieurs d'analyse de défaillance d'améliorer la sensibilité et la résolution de leurs mesures par la méthode SSRM en vide poussé. La numérisation en vide poussé offre une plus grande précision, une meilleure répétabilité, et limite les dommages sur la pointe et l'échantillon en comparaison à des conditions ambiantes ou sous azote, les utilisateurs peuvent mesurer une large gamme de concentration de dopage avec un très bon signal de réponse dans les applications d'analyse de défaillance.

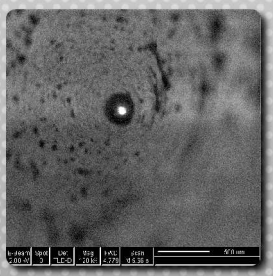


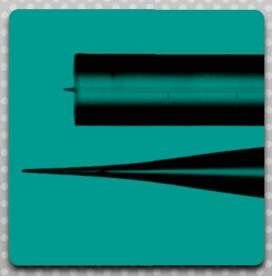
Nos partenaires :
AMT, Deben, Hitachi, Kammrath & Weiss, Park Systems, Point Electronic, Quartz-Imaging, Quorum Technologies, Rigaku, Thermo Scientific, TVIPS, Zeta Instruments.

ELEXIENCE
Département Instrumentation Scientifique
9 Rue des petits Ruisseaux – BP 61
91371 Verrières-le-Buisson
Tél : 01 69 53 80 35 – Fax : 01 60 11 98 09
Info.physique@milexia.fr
www.elexience.fr

LovaLite™



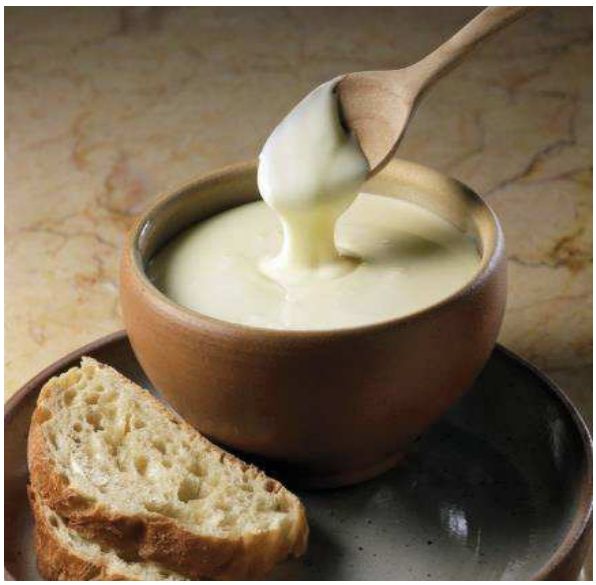




LovaLite SAS
7 Rue Xavier Marmier
25 000 Besançon - France
+33 (0)3 81 53 26 25
info@lovalite.com

www.lovalite.com

Session 3 « Cancoillotte » Mardi 22 Mars, 8h30 – 10h20



La cancoillotte est un fromage à la texture onctueuse et légèrement liquide. Pour sa fabrication, il faut faire fondre dans de l'eau ou du lait, du metton (lait caillé puis émietté) puis ajouter du beurre fondu.

Ce fromage typique de la cuisine franc-comtoise est principalement fabriqué en Haute-Saône. Il est souvent servi chaud avec des pommes de terre et de la saucisse.

La découverte de cette recette viendrait de l'oubli d'un fermier de jeter son lait caillé.

8h30 : **Thierry Grosjean**, Institut FEMTO-ST CNRS UBFC.
Cours : Les nano-antennes pour la microscopie SNOM.

9h30 : **Florence Blachon**, Institut Lumière Matière UMR 5306, Université Lyon 1.
Structure des membranes lipidiques sur des surfaces rugueuses.

9h55 : **Jose Moran Meza**, SPEC CEA CNRS Institut Curie Université Paris-Saclay.
Étude de l'interaction anticorps-antigène OVA par AFM : vers la détection de cibles aux faibles concentrations.

NANO-ANTENNES PLASMONIQUES

POUR LA MICROCOPIE OPTIQUE EN CHAMP PROCHE

Thierry Grosjean

Institut FEMTO-ST

Département d'Optique PM Duffieux / Equipe Nano-optique

15b Avenue des Montboucons

25030 Besançon cedex

Email : thierry.grosjean@univ-fcomte.fr

L'étude et le contrôle de l'interaction lumière-matière à de très faibles échelles ont connu des avancées majeures avec l'avènement des nano-antennes plasmoniques. Ces structures métalliques, fortement inspirées de l'ingénierie des antennes basses fréquences, consistent en des agencements plus au moins complexes de nanoparticules métalliques capables d'augmenter très fortement le champ lumineux dans des volumes bien inférieurs à la limite de diffraction. Leurs propriétés optiques intrinsèques, accordables par le biais de la forme géométrique et des dimensions des nanoparticules qui la constituent, permettent la définition « à la carte » de l'interaction locale entre la lumière et la matière et son contrôle ultime, impactant ainsi de vastes domaines scientifiques et économiques.

Je présenterai l'apport significatif des nano-antennes à la microscopie optique en champ proche à balayage (microscopie SNOM), mais également ce que les techniques SNOM ont apporté à l'étude et au contrôle de l'interaction lumière-matière par le biais de nano-antennes. L'intégration de nano-antennes à l'extrémité de pointes de la microscopie SNOM a permis la mise en œuvre d'une nouvelle génération de nano-sondes locales capables d'extraire un signal plus intense et plus riche du « nano-monde », améliorant ainsi significativement notre vision « optique » de l'infiniment petit. En contrepartie, les techniques SNOM permettent l'intégration de nano-antennes dans des bancs optiques ultracompacts, mobiles et clé-en-mains pour la fabrication, la manipulation et l'exploration de nano-entités.

Structure des membranes lipidiques sur des surfaces rugueuses

Florence Blachon[1], Frédéric Harb[2], Agnès Piednoir[1], Bernard Tinland[3], Thierry Charitat[4], Giovanna Fragneto[5], Olivier Pierre-Louis[1],Jean-Paul Rieu[1]

[1]Institut Lumière Matière, Université Lyon 1 - Unité Mixte de Recherche 5306, [2] Faculty of Sciences, Section II – Lebanese University, [3] CINaM-CNRS, Aix-Marseille Université – UMR7325, [4] Institut Charles Sadron, Université de Strasbourg - CNRS, [5] Institut Laue-Langevin

Souvent utilisées comme système modèle des membranes cellulaires, les membranes lipidiques supportées offrent l'avantage de pouvoir être aisément étudiées à l'aide de techniques très sensibles, tel que la microscopie à force atomique (AFM) ou encore la diffusion neutronique [1]. La plupart de ces techniques sont utilisées sur des surfaces atomiquement planes. Pourtant, *in vivo,* les couches lipidiques sont en contact et interagissent le plus souvent avec des surfaces rugueuses. On peut citer le cartilage, surface très rugueuses, qui serait recouvert de multicouches lipidiques [2]. Ces dernières pourraient participer aux exceptionnelles propriétés tribologiques des surfaces articulaires [3]. L'objectif de nos travaux, dans ce cadre, est d'étudier les propriétés de membranes lipidiques sur des surfaces rugueuses, afin de comprendre les résultats de précédant travaux prouvant le caractère plus ou moins lubrifiant des lipides lors d'expériences tribologiques [4].

Nous avons travaillé avec deux principaux types de surface, aux rugosités RMS variant entre 0,1 et 11 nm mais avec une topologie assez différente : des morceaux de wafer de silicium présentant des aspérités très pointues gravés par attaque d'ions réactifs (Figure 1.B) et du verre N-BK7 et présentant des cratères assez profonds gravée par attaque chimique humide (Figure 1.A).

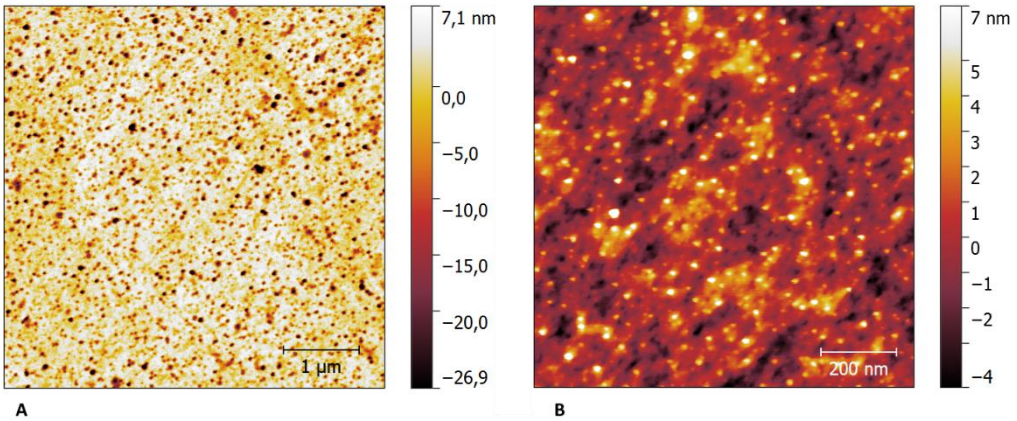


Figure 1 : Images AFM à l'air (mode tapping) (A) : verre N-BK7 gravé à la soude alcoolique, de rugosité RMS = 5,41 nm (B) morceau de wafer de silicium (p100) gravé par RIE (Oxford RIE 80), de rugosité RMS = 1,88 nm

Des bicouches lipidiques (DMPC, DPPC) ont été déposées sur ces surfaces par Langmuir-Schaeffer et ont été étudiés à l'aide de plusieurs techniques. Par FRAPP (Fluorecence Recovery After Patterned Photobleaching), nous avons montré que le coefficient d'auto-diffusion des lipides en phase fluide dépendait fortement de la rugosité du substrat, alors qu'il ne varie que très peu en phase gel suggérant une possible transition de décollement des membranes en phase gel sur des surfaces présentant des zones de forte courbure comme le prédit la théorie [5]. Pourtant, les images AFM et les mesures de réflectivité spéculaire de neutron indiquent sans ambiguïté que les bicouches lipidiques suivent parfaitement l'essentiel des ondulations des substrats rugueux. Une caractérisation topographique assez fine de nos substrats nus en utilisant des pointes super-sharp SSS montre que, lorsque la rugosité augmente, l'augmentation de surface cachée reste assez modeste, par contre la proportion de la surface occupée par des zones de très forte courbure augmente sensiblement. Nous montrons avec de simulations très simples de diffusion de particules browniennes à travers un paysage présentant des obstacles ou des défauts que ces défauts pourraient expliquer la forte dépendance entre coefficient de diffusion et rugosité en phase fluide des bicouches.

Références

[1] Giovanna Fragneto, Thierry Charitat, Jean Daillant, *Eur Biophys J* ***2012***, *41* (863–874)
[2] A. V. Sarma, G. L. Powell, et M. LaBerge, *J. Orthop. Res.* ***2001***, *vol 19 n°4* (671-676)
[3] A.-M. Trunfio-Sfarghiu, Y. Berthier, et J.-P. Rieu, *Langmuir* ***2008 ,*** *vol 24 n°16* (8765-8771)
[4] M-C. Corneci, F. Dekkiche, et J.-P. Rieu, *Tribol. Int.*
[5] O. Pierre-Louis, *Phys. Rev. E.* ***2008***, *vol. 78 n°2* (p. 021603)

Étude de l'interaction anticorps-antigène OVA par AFM : vers la détection de cibles aux faibles concentrations

J. MORÁN[1], C. SOUM[1], J. NORMAND[1], M. PHAM-VAN[1], F. THOYER[1], R. DE MIGUEL-VISCASILLAS[2], H. VOLLAND[3], C. FERAUDET-TARISSE[3], J-L. PELLEQUER[4], T. BERTHELOT[5] and L. PHAM-VAN[1]

[1]*SPEC, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette, France*
[2]*Institut Curie, Centre de Recherche, Orsay, France*
[3]*Service de Pharmacologie et d'Immunologie, DRM/DSV, CEA/Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette Cedex, France.*
[4]*IBS, Univ. Grenoble Alpes/CNRS/CEA, 71 avenue des Martyrs CS 10090, F-38044 Grenoble Cedex 9, France*
[5]*NIMBE, CEA, CNRS, Université Paris-Saclay, CEA Saclay 91191 Gif-sur-Yvette, France*

La détection rapide d'une cible biologique spécifique (bactéries entéropathogènes) à faible concentration est un enjeu crucial dans le domaine médical et l'industrie agroalimentaire. La microscopie AFM constitue une technique puissante [1] pour étudier la capture d'espèces biologiques par une surface fonctionnalisé par des anticorps. Une des difficultés majeures sera de collecter les cibles à partir d'une phase liquide et de les transférer sur un substrat plan compatible à l'AFM.

D'une part, cette technique permet d'étudier la topographie et la distribution des espèces biologiques sur une surface à l'échelle nanométrique. D'autre part, par la mesure de la force entre la pointe de l'AFM et la phase solide qui retient la cible, on sera en mesure de détecter l'espèce ciblée. La particularité de l'AFM est de pouvoir détecter un objet unique. De récentes investigations sur l'interaction entre une pointe fonctionnalisée et une surface recouverte de molécules biologiques ont été réalisées par AFM [2].

Nous avons retenu la résine SU8 qui permet le greffage d'anticorps anti-OVA (IgG) et qui présente une planéité adéquate pour l'AFM. Les premiers résultats obtenus en mode AM-AFM («tapping») sont présentés dans la Fig. 1 (a-d) et révèlent la présence d'agrégats d'anticorps sur la surface de SU8. L'agglomération d'anticorps (clusters de taille entre 0.2 et 1.0 µm) prédomine à des concentrations élevées (200 µg/ml). Les films présentent des structures hétérogènes en raison de coalescence d'anticorps, tandis que des concentrations plus faibles (50 et 20 µg/ml) on observe des distributions homogènes. Cependant, compte tenu de leur taille, il nous a paru nécessaire de procéder à une imagerie à plus haute résolution, pour permettre de distinguer la structure interne des clusters. Nous utilisons le microscope *0*PM-AFM, entièrement développé au sein de notre laboratoire pour l'étude des interfaces liquides, qui permet une meilleure résolution latérale. La Fig. 1(e) montre la morphologie d'agrégats d'anticorps de diamètre environ ~30 nm.

L'AFM nous a permis déterminer que la concentration d'anticorps joue un rôle important dans le taux de couverture d'anticorps et leur distribution. Ceci est crucial pour produire simultanément un échantillon reproductible pour tester la capacité de l'AFM en tant que détecteur biologique, et pour nous permettre de définir un procédé de transfert du volume vers la surface. L'exploration par spectroscopie de force du système anticorps-antigène est en cours.

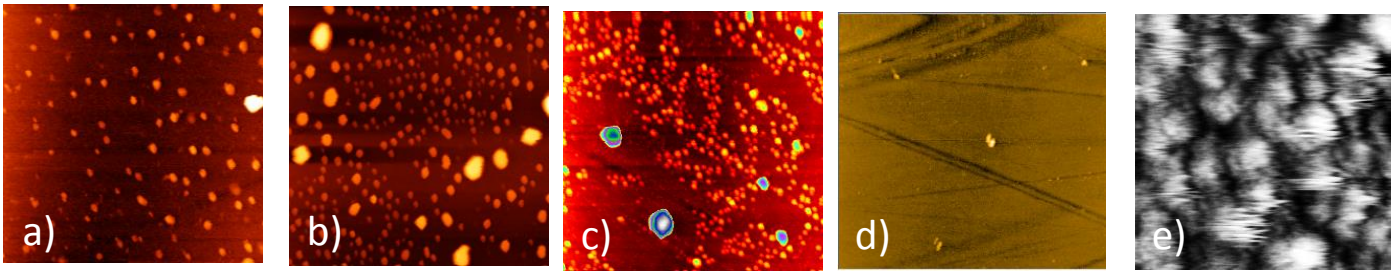


Figure 1 : Topographie AFM d'anticorps OVA sur SU8 pour diffèrent concentrations: 20 (a), 50 (b) and 200 (c) µg/mL. (d) Surface nue de SU8. Taille des images: 12x12 µm^2. (e) Image *0*PM-AFM d'anticorps OVA sur SU8 (50 µg/mL) à haute résolution, taille : 150x150 nm^2.

Financements : Ce travail a été financé pour le programme transversal "Technologies pour la Santé".

Références

[1] Tan YH, Schallom JR, Ganesh NV, Fujikawa K, Demchenko A V, Stine KJ. Characterization of protein immobilization on nanoporous gold using atomic force microscopy and scanning electron microscopy. *Nanoscale* **2011**;3:3395–407. doi:10.1039/c1nr10427f.

[2] Polesel-Maris J, Legrand J, Berthelot T, Garcia A, Viel P, Makky A, et al. Force spectroscopy by dynamic atomic force microscopy on bovine serum albumin proteins changing the tip hydrophobicity, with piezoelectric tuning fork self-sensing scanning probe. *Sensors Actuators B Chem* **2012**;161:775–83. doi:10.1016/j.snb.2011.11.032.

Session 4 « Pasteur » Mardi 22 Mars, 10h45 – 12h00

Louis Pasteur est un chimiste français, pionnier de la microbiologie.

Il est né à Dole (Jura) le 27 décembre 1822 et mort à Marnes-la-Coquette, le 28 septembre 1895.

Cet homme aux multiples facettes est principalement connu pour ses travaux sur les microbes et le vaccin dont le vaccin contre la rage, ce qui lui a valu sa notoriété.

Pasteur est également connu pour ses travaux sur la chiralité. Lorsqu'il habitait à Arbois (Jura), il a identifié les diastéréoisomères de l'acide tartrique, substance utilisée en viticulture. Une vigne porte toujours son nom à Arbois. (Jura).

10h45 : **Alexis Borowiak**, LSPM UPR 3407 CNRS Sorbonne Paris Cité Université Paris 13.
Nanoscale switching dynamics studies of domain growth in polycrystalline ferroelectric thin films.

11h10 : **Ingrid Cañero Infante**, SPMS Laboratory UMR 8580 CNRS & Centrale Supelec Université Paris
Saclay, Materials Research and Technology Department LIST.
Investigating the polar features in antiferroelectric-based systems using piezoresponse force microscopy.

11h35 : **Aymeric Vecchiola**, Unité Mixte de Physique CNRS-Thales UMR 137.
Imagerie de résistance électrique locale sur matériaux fragiles par AFM à pointe conductrice en mode contact intermittent

Nanoscale switching dynamics studies of domain growth in polycrystalline ferroelectric thin films

Alexis BOROWIAK[1], Alexis GARCIA-SANCHEZ[1], Salia CHERIFI[2] and Silvana MERCONE[1]

[1]*Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, LSPM (UPR 3407) CNRS, 99 Avenue J.-B. Clément, 93430 Villetaneuse, France*
[2]*Université de Strasbourg, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (UMR 7504) CNRS, 23 Rue du Loess, 67034 STRASBOURG, France*

The estimation of the switching speed in ferroelectric nanodomains is mandatory for their application in non-volatile ferroelectric memories under the needs of getting fast switching at low voltage. Nowadays, polycrystalline $Pb(ZrTi)O_3$ (PZT) thin films are widely used in various applications such as a piezoelectric actuators and sensors but also in Ferroelectric Random Access Memory. In the last years, researchers have mainly focused in the study of the nanoscale switching dynamics behavior of epitaxial PZT ferroelectric thin films via Piezoresponse Force Microscopy (PFM) [1]. PFM is a powerful technique to study piezoelectric and ferroelectric materials at the nanoscale [2]. It is based on the reverse piezoelectric effect in which a piezoelectric material can contract and extend under an applied electrical voltage. By applying an alternating voltage on the conductive Atomic Force Microscopy tip, it is possible to record a nanoscale piezoelectric map of the surface of a ferroelectric material. Domain structures can be controlled in a non-destructive way and the orientation of the polarization can be studied at the nanoscale.

Up to our knowledge, PFM studies on polycrystalline PZT thin films have focused on low biasing conditions and long pulse time in order to understand the effects of switching between grains [3] and the nanoscale kinetics inside each grain [4]. A recent work in epitaxial ferroelectric thin films proposed a subcritical switching dynamics study on domain growth and nucleation in the pulse time range of 10^{-4} to 10^{2} s [5]. In this context, ferroelectric domain switching in polycrystalline PZT thin films with mainly c-axis oriented grains was studied by using PFM in ambient condition. We decide thus to focus on the domain switching dynamics of 2 polycrystalline PZT samples with different thicknesses: 130 nm and 260 nm. Local domain structures were imaged as a function of varying biasing and switching times conditions. Using PFM local pulses measurements, we probe the nucleation and growth regime of various areas of the samples with time pulses varying from 10^{-6} to 10 s. Bias voltage measurements have been performed close and above the switching voltage limit of the samples previously studied by macroscopic polarization measurements. We will study and compare the ferroelectric domain size created under the tip in function of the pulse time and the voltage applied and we will compare it to the result obtained on epitaxial ferroelectric thin films.

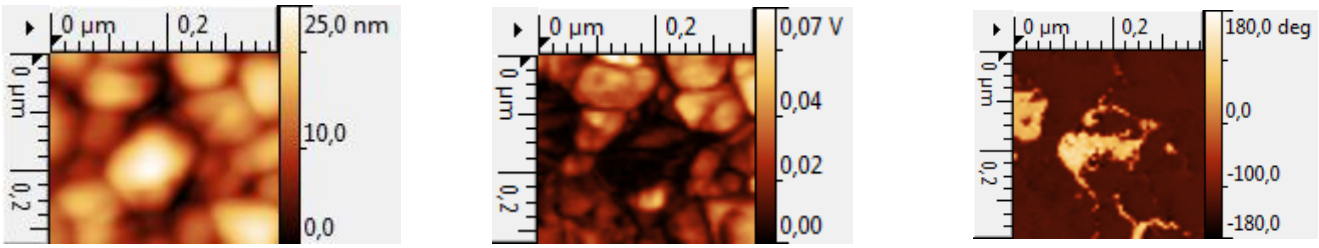


Figure 1: (From left to right) Topography, PFM Vertical Amplitude and PFM Vertical Phase at a grain boundary.

Références

[1] Paruch, P.; Tybell, T.; Triscone, J.-M., *Applied Physics Letters* **2001**, *79*, 530
[2] Gruverman, A.; Auciello, O.; Tokumoto, H., *Applied Physics Letters* **1996**, *69*, 3191
[3] Wicks, S.; Anbusathiah, V.; Nagarajan, V., *Nanotechnology* **2007**, *18*, 530
[4] Anbusathiah, V.; Nagarajan, V., Aggarwal, S., Journal of Applied Physics **2007**, *101*, 084104
[5] Blaser, C.; Paruch, P., *New Journal of Physics* **2015**, *17*, 013002

Investigating the polar features in antiferroelectric-based systems using piezoresponse force microscopy

Charlotte COCHARD[1,2,3], **Ingrid C. INFANTE**[1,3], Vladimir V. SHVARTSMAN[4], Doru C. LUPASCU[4], Orland GUEDES[2], and Pierre-Eymeric JANOLIN[1]

[1] SPMS Laboratory, UMR8580 CNRS & CentraleSupelec, Université Paris Saclay
Grande Voie des Vignes, Chatenay-Malabry, France, F-92295
[2] Riboud Product Center, Schlumberger
1 rue H. Becquerel, Clamart, France, F-92410
[3] Materials Research and Technology Department, Luxembourg Institute of Science and Technology
41 Rue du Brill, Luxembourg, L-4422 Belvaux
[4] Institute for Materials Science, University of Duisburg-Essen and Centre for Nanointegration
Universitätsstrasse 15, Essen, Germany, D-45141

In contrast to ferroelectrics, antiferroelectrics have received less attention despite rich and still yet understood phenomena making them of interest for academic research as well as for potential applications including high-energy storage capacitors, electrocaloric devices, or sensors and transducers.

Several phonon mode instabilities are known to exist in antiferroelectrics. Such instabilities imply antiparallel and/or ferroelectric displacements as well as in-phase and/or antiphase oxygen octahedra tiltings. It is believed, but still debated, that these modes compete and/or may couple leading to antiferroelectric behavior. By destabilizing these modes, it is then possible to get various polar states. We will focus our study on the $Pb(Yb_{1/2}Nb_{1/2})O_3$-$PbTiO_3$ (PYN-PT) solid solution [1], which exhibits all polar orders at room temperature, thus leading to antiferroelectric, classical ferroelectric, or relaxor properties increasing PT amount.

While the behavior of antiferroelectrics was recently reconsidered, only few works using local probes to reveal the polar features have been published. In this work, we use piezoresponse force microscopy (PFM) to get insight into the local features of induced polar arrangements as a function of electric field and temperature in these systems.

After showing structural and electric features on the above mentioned compounds deduced from larger scale techniques including X-ray diffraction and neutron scattering, Raman and dielectric spectroscopies, as well as macroscopic piezoelectric and ferroelectric measurements as a function of temperature, we will reveal the local phenomena underneath these properties seen by PFM. On PYN-PT ceramics of various compositions, we show the room temperature studies, including local piezoelectric loops to explore compositions with low PT content near the antiferroelectric end-member ($0 \leq x \leq 0.16$) and direct imaging of virgin and induced domain patterns characteristic of relaxor, ferroelectric-relaxor, and ferroelectric materials ($0.20 \leq x \leq 0.60$). In the latter case, we will confirm and complete with these PFM studies the PYN-PT phase diagram, showing the antiferroelectric order from local piezoelectric loops, and studying for virgin and artificial polar domains the coherence lengths and the corresponding temperature transition, respectively.

These results will be presented within the global picture of the piezoresponse microscopy studies comparing antiferroelectrics with relaxors and ferroelectrics.

Références

[1] Cochard, C. ; Karolak, F. ; Bogicevic, C. ; Guedes, O. ; Janolin P.-E. *Advances in Materials Science and Engineering* **2015**, *2015*, 408101

Imagerie de résistance électrique locale sur matériaux fragiles par microscopie à force atomique à pointe conductrice en mode contact intermittent

Aymeric Vecchiola[1], Pascal Chrétien[2], Karim Bouzehouane[1], Olivier Schneegans[2], Pierre Seneor[1], Sergio Tatay[3], Frédéric Houzé[2]

[1] Unité Mixte de Physique CNRS-Thales UMR 137, 1 avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau, France.
[2] Lab. Génie électrique et électronique de Paris (GeePs), UMR 8507 CNRS-CentraleSupélec, Universités Paris-Sud et UPMC, Université Paris-Sclay, 11 rue Joliot-Curie, Plateau de Moulon, 91192 Gif-sur-Yvette, France.
[3] Molecular Science Institute, University of Valencia, 46980 Paterna, Espagne.

Les mesures électriques locales par microscopie à force atomique (AFM) sont devenues un outil essentiel, à la fois pour la caractérisation des matériaux, structures et dispositifs à des échelles de plus en plus petites, que pour des études plus fondamentales sur les propriétés de nanostructures ou de nano-objets. Ces mesures sont généralement réalisées en mode contact, ce qui peut altérer des échantillons mous (électronique moléculaire, cellule photovoltaïque organique,…) ou des nano-objets faiblement ancrés (nanotubes, nanoparticules,…). Afin de surmonter ces difficultés, nous avons récemment développé une technique d'imagerie électrique, en faisant évoluer le module Résiscope[1] pour effectuer des mesures de résistance locale en mode contact intermittent à faible fréquence et avec une large gamme de mesure[2]. Après une brève description du principe de fonctionnement, nous présenterons quelques résultats significatifs et nous les comparerons avec des solutions existantes. Dans un premier temps, nous nous concentrerons sur une série d'échantillons académiques constitués de monocouches auto-assemblées d'alcanethiols avec différentes longueurs de chaine, déposées sur un substrat d'or ; ce type d'objet constitue un système modèle idéal pour évaluer les possibilités de notre instrument[3]. Puis, nous démontrerons l'intérêt de cette approche au travers de divers exemples de résultats obtenus sur différents types échantillons, allant de la spintronique moléculaire aux matériaux à base de carbone

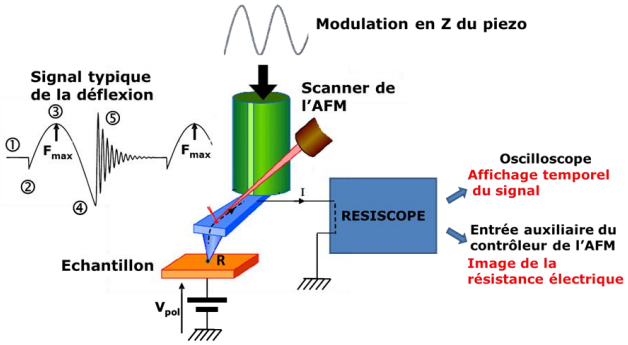


Figure 1: Vue schématique d'un AFM-Résiscope implémenté pour mesurer la résistance électrique locale en mode contact intermittent (exemple avec un actionnement sinusoïdal de la sonde). Le petit graphe à gauche montre les étapes successives de la déflexion du levier en fonction du temps: la pointe s'approche de l'échantillon sans subir d'interactions①, saut au contact②, force répulsive maximale③, pic d'adhésion④, retrait et oscillation libre du levier⑤.

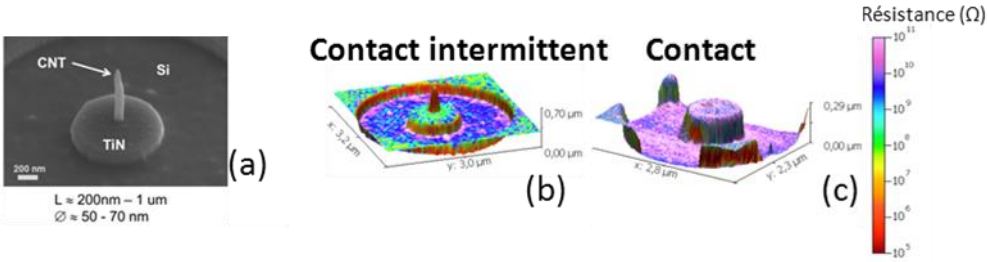


Figure 2: (a) Image MEB d'un nanotube de carbone vertical. (b) Image 3D de la topographie avec la représentation électrique en couleur, en mode contact intermittent (10nN). Le NTC reste inchangé, même après plusieurs balayages. (c) Même représentation d'un autre NTC, en mode contact (5nN). Le NTC a été arraché par la pointe dès le premier balayage.

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet ANR-2011-NANO-021 « MELAMIN » et d'une thèse CIFRE avec la société Concept Scientific Instruments.

Référence:

[1] O. Schneegans, P. Chrétien, F. Houzé, Brevet WO-2011138738A1 (2011) ; EP-2567245A1 (2013).
[2] A. Vecchiola, Thèse de doctorat Univ. Paris-Sud, 29/04/2015.
[3] A. Vecchiola, P. Chrétien, K. Bouzehouane, O. Schneegans, P. Séneor, S. Tatay, B. Geffroy, Y. Bonnassieux, D. Mencaraglia, F. Houzé, *Appl. Phys. Lett*. soumis (2016).

Session 5 « Savagnin » Mardi 22 Mars, 14h00 - 15h40

Le Savagnin est un cépage à petites grappes vertes ou jaunes de la famille des traminers.

Il est exclusivement cultivé dans les vignobles du Jura et permet la vinification de vins blancs de garde, puissants, complexes et riches en alcool. Il trouve toute son ampleur dans l'élaboration du renommé vin jaune et du Château-Châlon (AOC).

Sa richesse en sucre peut encore être augmentée par l'élaboration de vin de pailles, autre vin Jurassien typique.

14h00 : **Thomas Demonchaux**, IEMN UMR 8520 CNRS Département ISEN.
Imagerie par effet tunnel de complexes d'antisite d'arsenic et phosphore dans du GaAs épitaxié à basse température.

14h25 : **Benoit Eydoux**, CEMES CNRS UPR 8011 Université de Toulouse III.
Observation d'un complexe de ruthénium(III) par STM à basse température et interprétation théorique.

14h50 : **Sara Freund**, Département de Physique Université de Bâle.
Étude nc-AFM d'îlots de C_{60} formés sur un cristal moléculaire organique.

15h15 : **Julien Granet**, Institut Jean Lamour UMR 7198 CNRS, Université de Lorraine.
Etude de l'effet Kondo dans des molécules à base de cérium adsorbées sur des surfaces métalliques.

Imagerie par effet tunnel de complexe As_{Ga} – P dans du GaAs épitaxié à basse température.

Thomas DEMONCHAUX[a], Christophe COINON[a], Bruno GRANDIDIER[a], Jean-François LAMPIN[a],Didier STIEVENARD[a], Marc VEILLEROT[b], Xavier WALLART[a]

[a]Institut d'Électronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie (IEMN), CNRS, UMR 8520, Département ISEN, 41 bd Vauban, 59046 Lille Cedex, France
[b]Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France.
CEA, LETI, MINATEC Campus, F-38054 GRENOBLE, France.

Le GaAs épitaxié à basse température (GaAs-BT) est un semiconducteur non-stœchiométrique fabriqué par épitaxie par jet moléculaire à des températures de substrat inférieures à celles utilisées habituellement pour la croissance du GaAs. Il a été montré que ce matériau pouvait être utilisé pour la réalisation de photocommutateurs commutant en des temps inférieurs à la picoseconde permettant l'échantillonnage de signaux hyperfréquences [1]. À cet effet, il est généralement recuit brièvement à quelques centaines de degré, ce qui modifie la nature des défauts en volume.

Pour caractériser ces défauts, nous avons étudié les propriétés structurales, chimiques et électroniques de couches de GaAs-BT épitaxiées sur un puit quantique de InGaP sur GaAs. Les expériences de microscopie tunnel (STM) et de spectroscopie tunnel (STS) sont réalisées sur des faces (110) naturellement passivées, obtenues par clivage des échantillons sous ultra-vide. Nous avons observé des défauts ponctuels qui s'apparentent à des antisites d'arsenic, mais qui possèdent en plus une ou deux tâches sombres sur les images STM. Pour comprendre la nature de ces défauts, la caractérisation locale du matériau s'est accompagnée d'analyses par spectroscopie de masse des ions secondaires (SIMS) et diffraction des rayons X. En combinant toutes les différentes données, il s'avère que les antisites se couplent avec un ou deux atomes de phosphore pour former un complexe. En variant la température de croissance du GaAs-BT et la température du recuit du matériau, nous attribuons l'origine du faible de temps de vie de 8ps à ce complexe dans du GaAs-BT épitaxié à 325 °C recuite à 620 °C.

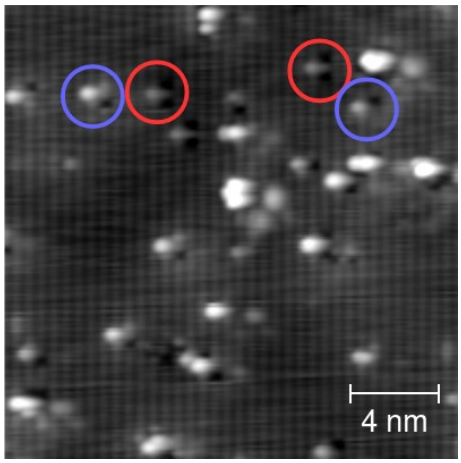


Figure 1 : Images STM d'une surface (110) de GaAs-BT épitaxié à 325 °C recuite à 620 °C. De nombreux défaut ponctuels sont visibles. Les défauts combinant un antisite d'arsenic avec un atome de phosphore sont entourés en bleu, alors que les défauts combinant un antisite d'arsenic et deux atomes de phosphore sont entourés en rouge. Conditions d'imagerie : Vs = -2,0 V ; I = 5 pA, T =77 K.

Références

[1] Peytavit, E., Pavanello, F., Ducournau, G., & Lampin, J. F. *Applied Physics Letters* **2013**, *103*(20)

Observation d'un complexe de ruthénium(III) par STM à basse température et interprétation théorique

Benoit Eydoux [a,c], Marten Piantek [b], Veronique Langlais [a], Jacques Bonvoisin [a], Xavier Bouju [a], David Serrate [b], Roland Coratger [a,c]

[a] CEMES, CNRS UPR 8011, 29 rue Jeanne Marvig, BP 94347, 31055 Toulouse Cedex 4, France

[b] Departemento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain

[c] Université de Toulouse III, UPS, 118 route de Narbonne, 31062 Toulouse, France

Partant d'un complexe de ruthénium comportant deux ligands de type dbm et d'un de type acac-Br, nous étudions son adsorption à l'échelle de la molécule unique ou de quelques molécules sur une surface d'or Au(111) par spectroscopie tunnel et par microscopie à force atomique à basse température. Des calculs basés sur la théorie de la fonctionnelle densité viennent complémenter l'interprétation des mesures expérimentales. Des molécules en forme de papillon entourées d'adatomes (Br) ont été identifiées comme des espèces de Ru(III)(dbm)$_2$ à géométrie plan-carré dans laquelle la charge positive serait stabilisée par la présence de Br jouant le rôle équivalent en solution de contre-ions sur la surface métallique. Cette interprétation est confirmée par comparaison avec d'autres complexes de coordination comme Ru(III)(dbm)$_3$[1][2], des données spectroscopiques et des calculs DFT. Cette étude apporte un nouveau moyen d'obtenir un complexe Ru(III) plan-carré qu'il n'est pas possible de synthétiser chimiquement.

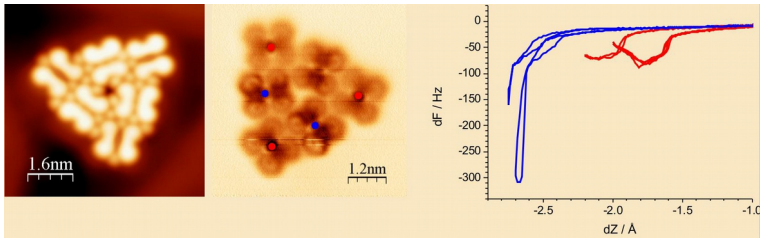


Figure 1 : Topographie STM (à gauche), topographie AFM (au centre), approches Δf(z) (à droite). Les atomes de brome ne sont visibles qu'en STM. La différence de conformation des molécules « internes » par rapport aux molécules « externes » est visible en topographie AFM.

Sur un ilot de complexe de ruthénium, la géométrie des molécules diffère selon le nombre de bromes environnants et de leur site d'adsorption. Les spectroscopies dI/dV des complexes Ru(III) et Ru(II) montrent une signature du degré d'oxydation du métal. La similitude des calculs de densités d'état projetées et des données expérimentales réside dans la positon en énergie des pics.

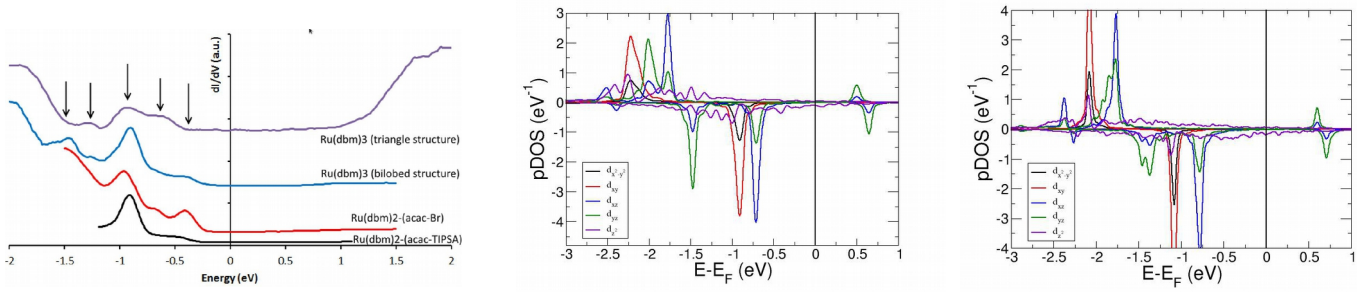


Figure 2 : Courbes dI/dV expérimentales (gauche) et calculs de densité d'états projetés sur l'atome de ruthénium (spin up, spin down) , (milieu) sans adatome de brome, (droite) avec cinq adatomes de brome.

Références

[1] S. Munery; N. Ratel-Ramond; Y. Benjalal; L. Vernisse; O. Guillermet, X. Bouju, R. Coratger and J. Bonvoisin, *European Journal of Physical Chemistry* , **2011**, 2698.

[2] L. Vernisse, S. Munery, N. Ratel-Ramond, Y. Benjalal, O. Guillermet, X. Bouju, R. Coratger and J. Bonvoisin, Journal Of Physical chemistry C, **2012**, 116, 13715.

Étude nc-AFM d'îlots de C_{60} formés sur un cristal moléculaire organique

Sara Freund[1], Antoine Hinaut[1], Rémy Pawlak[1], Shi-Xia Liu[2], Silvio Decurtins[2], Ernst Meyer[1] et Thilo Glatzel[1]

[1]*Département de Physique, Université de Bâle, Klingelbergstrasse 82, CH-4056 Bâle, Suisse*
[2]*Département de Chimie et Biochimie, Université de Bern, Freiestrasse 3, CH-3012 Bern, Suisse*

Les cristaux organiques moléculaires ont rarement été étudiés à température ambiante par microscopie à force atomique en mode non-contact. Ce type de matériaux, possède une structure par couche et offre la possibilité de synthétiser des surfaces aux propriétés modulables [1].

Ici, nous proposons d'étudier l'adsorption de molécules de fullerène (C_{60}) sur un tel matériau: le sel bis(benzylammonium)bis(oxalate)cupurate(II) (BNL) [2]. BNL est composé d'une alternance de couches anioniques d'oxalate de cuivre et couches cationiques de benzylammonium (Fig.1 (a)). BNL présente également une surface anisotropique avec deux orientations moléculaires différentes où les paramètres de mailles sont du même ordre de grandeur que le diamètre d'une molécule de C_{60} (Fig.1 (b)) [3].
Les molécules de C_{60} déposées par évaporation thermique sur ce substrat, forment des îlots triangulaires ou hexagonaux (Fig.1 (c)). Des images nc-AFM haute résolution, aussi bien des îlots que du substrat, ont été obtenues. Le changement de forme d'un de ces îlots induit par la pointe a été observé et analysé.

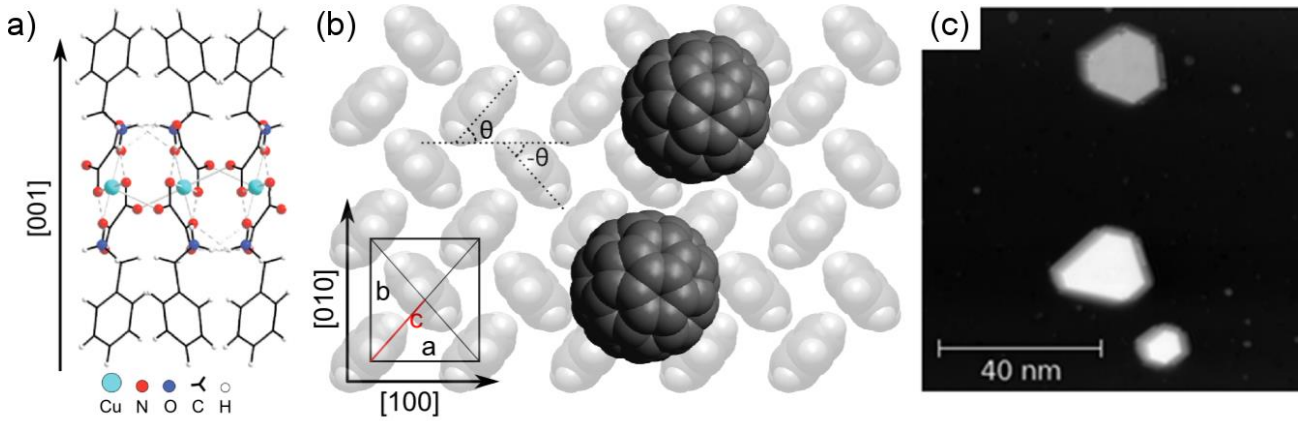


Figure 1 : (a) Structure du BNL ; le complexe $[Cu(C_2O_4)_2]^{2-}$ forme un structure bidimensionnelle décorée de part et d'autre de cations organique : benzylammonium. (b) Vue du dessus de deux molécules de C60 adsorbé sur la surface (001) du cristal. Les molécules sont orientées selon les angles θ = ± 48° par rapport à la direction [100]. Les paramètres de mailles sont : a = 0.71nm, b = 0.80nm, c = 0.53nm et le diamètre d'un C_{60} est 1nm ≈ 2c. (c) Îlots triangulaire et hexagonaux formés par les molécules de C_{60} sur la surface de BNL.

Références

[1] Clément, R.; Decurtins, S.; Gruselle, M.; Train, C. *Monatsh. Chem.* **2003**, *134*, 117.
[2] Bloomquist, D. R.; Hansen, J. J.; Landee, C. P.; Willett, R. D.; Buder, R. *Inorg. Chem*. **1981**, *20*, 3308
[3] Fessler, G.; Zimmermann, I.; Glatzel, T.; Gnecco, E.; Steiner, P.; Roth, R.; Keene, T.D.; Liu, S.-X., Decurtins, S.; Meyer, E. *Appl. Phys. Lett.* **2011**, *98(8)*, 083119

Etude de l'effet Kondo dans des molécules à base de cérium adsorbées sur des surfaces métalliques

Julien GRANET[a], Muriel SICOT[a], Bertrand KIERREN[a], Yannick FAGOT-REVURAT[a], Daniel MALTERRE[a], Simon LAMARE[b], Frederic CHERIOUX[b], François BAUDELET[c]

[a] *Institut Jean Lamour, UMR 7198, CNRS Université de Lorraine BP 70239 54506 Vandoeuvre lès Nancy, France,*
[b] *FEMTO-ST, Université de Franche-Comté, CNRS, ENSMM, 32 Avenue de l'Observatoire, 25044 Besançon cedex, France* [c] *Synchrotron SOLEIL, L'Orme des Merisiers, Saint-Aubin, BP 48, F-91192 Gif sur Yvette, France*

Depuis quelques années, l'électronique de spin moléculaire a connu un fort développement [1], notamment grâce au microscope à effet tunnel. Dans ce domaine, de nombreux travaux sur des molécules, majoritairement des phthalocyanines [2] ou des porphyrines [3] métallées, déposées sur des surfaces métalliques ont été réalisés. Dans le travail reporté ici, nous étudions un complexe à base de cérium : le complexe (phthalocyaninato) (porphyrinato) de Cérium (IV) (CePcTPP). Nous étudions plus particulièrement l'effet Kondo dans cette molécule en fonction de son environnement (substrat, plus proches voisins …).

Le cérium, grâce à ses électrons 4f, est connu pour être un excellent candidat pour l'étude de l'effet Kondo [4]. Cependant, cet effet n'a jamais été mis en évidence dans des molécules contenant du cérium. La molécule que nous avons décidé d'étudier présente à l'état de poudre une valence proche de 4+, mesuré en absorption X (XAS), rendant possible l'apparition d'un effet Kondo. Cependant, cette valence peut changer lorsque la molécule est en interaction avec une surface métallique en raison du transfert de charge. Ainsi un changement de substrat doit permettre d'agir sur la valence du cérium et donc sur l'effet Kondo. Nous avons ainsi étudié les propriétés électroniques et structurales des CePcTPP sur métal par microscopie et spectroscopie à effet tunnel à basse température (LT-STM - T=4.7K) et en environnement Ultra Vide (UHV - P=10^{-11} mbar). Les propriétés structurales, ont également été étudiées par diffraction d'électrons lents (LEED) à T=80K. Nous avons ainsi pu étudier la croissance des CePcTPP jusqu'à la monocouche (figure 1-a) et caractériser l'arrangement moléculaire observé (figure 1-b). De plus, les mesures de spectroscopie tunnel ont permis d'identifier les états moléculaires ainsi qu'une résonnance de Fano proche du niveau de Fermi et associée à l'effet Kondo (figure 1-c).

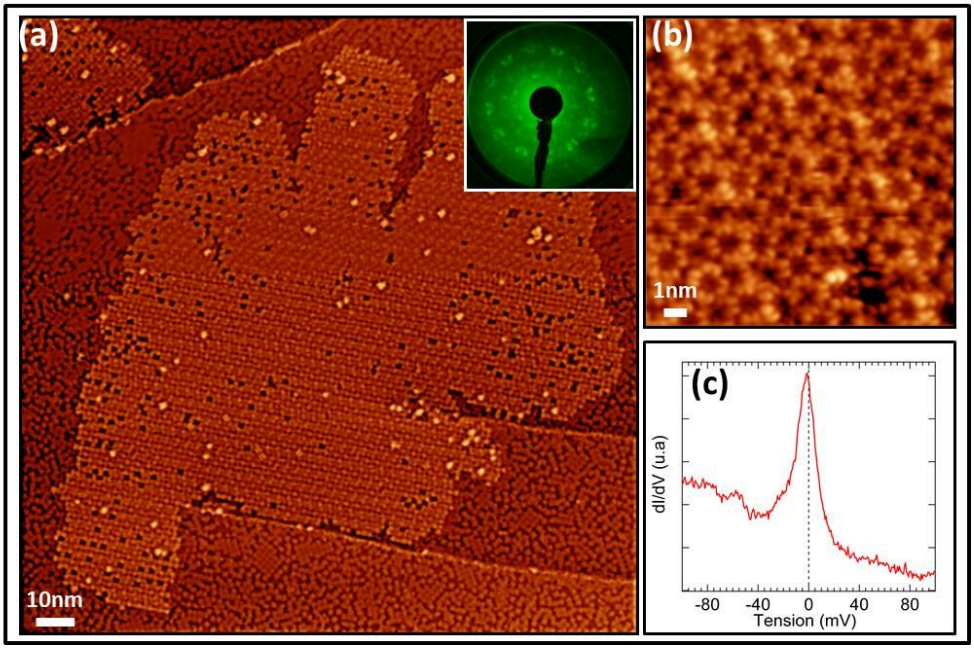
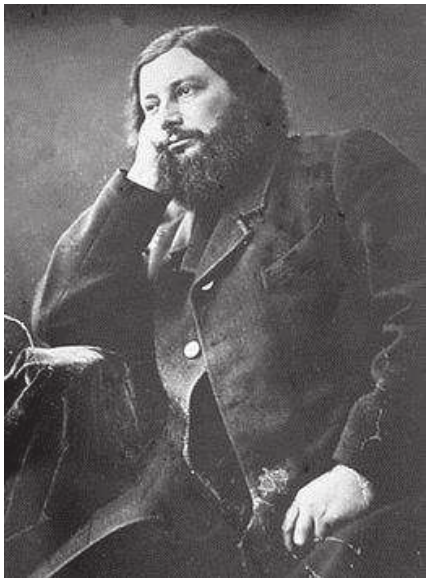


Figure 1 : (a) : Image STM d'un nano-îlot de CePcTPP sur Ag(111) ; insert : digramme LEED caractéristique d'une monocouche de CePcTPP – (b) : organisation des CePcTPP déposées sur Ag(111) – (c) : spectroscopie tunnel proche du niveau de Fermi présentant une signature de l'effet Kondo.

Références

[1] Urdampilleta, M.; Klyatskaya, S.; Cleuziou, J.-P. ; Ruben, M. and Wernsdorfer, W. Nat.Materials (2011), 10, 502
[2] Tsukahara, N.; Noto, K.I. ; Ohara, M. ; Shiraki, S. ; Takagi, N. ; Takata, Y. ; Miyawaki, J. ; Taguguchi, M. ; Chainani, A. ; Shin, S. ; Kawai, M. Phys. Rev. Lett (2009), 102, 167203
[3] Iancu,V.; Deshpande, A.; Hla, S.-W. PRL (2006), 97, 266603
[4] Witkowski, N.; Bertran, F.; Panaccione, G. ; Taleb, A. ; Malterre, D. Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena (1999), 101, 799

Session 6 « Gustave » Mardi 22 Mars, 16h05 - 17h20



Gustave Courbet est né le 10 juin 1819 à Ornans, dans le Doubs, et il est mort le 31 décembre 1877 à La Tour-de-Peilz en Suisse. C'était un peintre et sculpteur français, chef de file du courant réaliste.

Il est principalement connu pour le réalisme de ses œuvres opposées aux critères de l'académisme et pour le scandale qu'il provoqua à plusieurs reprises chez ses contemporains.

Anticlérical, ami de Proudhon et proche des anarchistes, il fut l'un des élus de la Commune de Paris de 1871.

Ses œuvres les plus connues sont, entre autres, son autoportrait, « l'origine du monde » ou encore « un enterrement à Ornans ».

16h05 : **Simon Carpentier**, Institut Néel CNRS Université Grenoble Alpes.
Measurement of mechanical properties of soft matters without contact by Force Feedback Microscope.

16h30 : **Anne Le Cunuder**, Ecole Normale Supérieure de Lyon.
Contrôle du temps de relaxation d'un levier AFM.

16h55 : **Fatah Maloum**, Institut FEMTO-ST.
Vers la caractérisation mécanique des matériaux anisotropes par microscopie à pointe vibrante.

Measurement of mechanical properties of soft matters without contact by Force Feedback Microscope

Simon Carpentier[1,2], Mario S. Rodrigues[3], Miguel V.Vitorino[3], Luca Costa[4], Elisabeth Charlaix[1, 5], and Joël Chevrier[1, 2]

[1] *Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France*
[2] *CNRS, Inst NEEL, F-38042 Grenoble, France*
[3]*University of Lisboa, Faculty of Science, BioISI-Biosystems & Integrative Sciences Institute, Campo Grande, Lisboa, Portugal*
[4]*ESRF, The European Synchrotron, 71 rue des Martyrs, 38000 Grenoble, France*
[5]*CNRS, LIPhy, F-38042 Grenoble, France*

Measurement of mechanical properties of a sample usually requires mechanical contact between the probe and the specimen to study. In the context of thin (less than 500 nm) and soft films having typically a Young's modulus of about 1 MPa (e.g. polymer films), the forces dominating the mechanical contact are surface forces such as adhesion. Furthermore, as these measurements require high indentation depth, the substrate can contribute to the volume forces. It becomes therefore very difficult to measure the volume forces of interest. To overcome these adhesion forces and substrate contributions, one solution would be to indent locally the sample without touching it. This is achieved by using a confined liquid between the tip and the sample, such that the indentation is mediated by the viscous liquid. Through the hydrodynamic pressure induced by the oscillating tip, it is possible to trace the Young's modulus and dissipation of the sample [1]. This requires acquisition - at the same time and at the very same place - of the static force, the stiffness and the dissipation of the interaction at arbitrary frequency. The simplest way to fully characterize the interaction at arbitrary frequency is to use the linear response of the sensor and the second law of Newton [2,3]. This is where the novel methodology developed at Institut Néel on custom-made AFMs, the Force Feedback Microscope takes place.

[1] S. Leroy and E. Charlaix, “Hydrodynamic interactions for the measurement of thin film elastic properties,” *J. Fluid Mech.* **674**, 389–407 (2011). http://dx.doi.org/10.1017/S0022112010006555

[2] M. S. Rodrigues, L. Costa, J. Chevrier, and F. Comin, “Why do atomic force microscopy force curves still exhibit jump to contact?” *Appl. Phys. Lett.* **101**(20), 203105 (2012). http://dx.doi.org/10.1063/1.4766172

[3] M. S. Rodrigues, L. Costa, J. Chevrier, and F. Comin, “System analysis of force feedback microscopy,” *J. Appl. Phys.* **115**(5), 054309 (2014). http://dx.doi.org/10.1063/1.4864127

Contrôle du temps de relaxation d'un levier AFM

Anne LE CUNUDER, Ignacio MARTINEZ, Sergio CILIBERTO, Artyom PETROSYAN

Ecole Normale Supérieure de Lyon

Si on change soudainement la position d'équilibre d'un oscillateur harmonique, en appliquant une force externe par exemple, il faut un certain temps au système pour atteindre son nouvel état d'équilibre. Pendant ce régime transitoire, le système oscille avec une amplitude qui décroit progressivement jusqu'à ce qu'il soit complètement relaxé. Le temps de retour à l'équilibre τ est une propriété intrinsèque du système. Cependant, si on applique une force externe très spécifique, on montre qu'on peut réduire de façon arbitraire le temps d'équilibration (ref [1]).

Pour certaines applications, il peut être très utile de contrôler ce temps de relaxation. En imagerie AFM, par exemple, si la position du levier change à cause d'une interaction avec la surface, il faut attendre plusieurs cycles pour que le levier atteigne son nouvel état d'équilibre. L'accélération de la relaxation des leviers AFM est à la base de techniques d'imagerie à haute vitesse. Plusieurs techniques ont été développées, comme l'utilisation de la rétroaction, ou la modification des propriétés viscoélastiques des leviers. Dans cette présentation, on montrera qu'en choisissant un forçage approprié, on peut contrôler directement le temps de retour à l'équilibre.

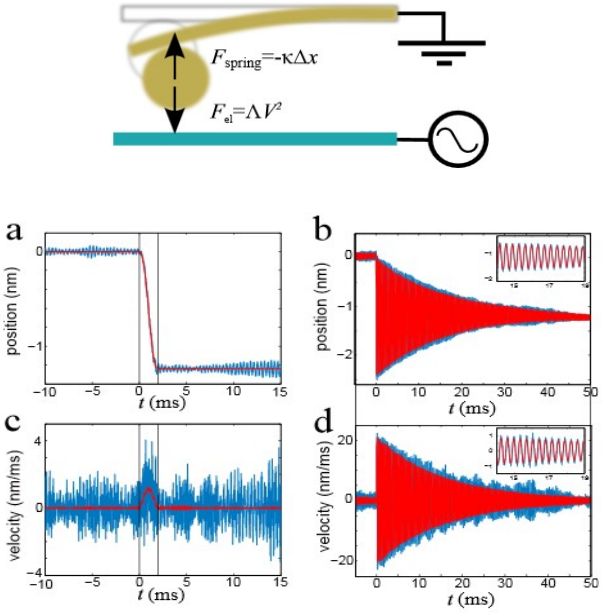


Figure 1 : Ci-dessus: Schéma du montage – Ci-dessous: Dynamique du système au cours d'un STEP et au cours du protocole spécifique. a-Evolution de la position au cours du protocole. b-Evolution de la position au cours d'un STEP. c-Evolution de la vitesse au cours du protocole spécifique. d.Evolution de la vitesse au cours d'un STEP. Les quatres figures montrent la dynamique au cours d'une seule réalisation (bleu) et d'une moyenne de 5000 réalisations. Les limites verticales représentent le début et la fin du protocole. Les figures montrent le retour à l'équilibre du système en un temps contrôlé lorsqu'on applique le protocole spécifique.

L'expérience consiste à appliquer une différence de potentiel entre le levier recouvert d'or et un échantillon doré.Le système se comportant comme un condensateur, la force électrostatique s'écrit:

$$F = 4\pi\epsilon_0 R V^2/d$$

Si la force suit une évolution bien précise, les oscillations du levier sont amorties en un temps très court. Cependant, le fait de réduire le temps de relaxation a un coût énergétique. Même si le système dissipe très peu, puisqu'on fait l'expérience à viscosité très faible, on peut faire une étude intéressante de ses échanges énergétiques.

On peut imaginer le même type de protocole, où l'on utiliserait la force électrostatique pour moduler la raideur du levier, ce qui pourrait avoir des applications intéressantes pour améliorer la précision des courbes de forces.

Références

[1] Martinez, Petrosyan, Guéry-Odelin, Trizac, Ciliberto *arXiv 1512-07821 [cond-mat.stat-mech],* ***2015***

Vers la caractérisation mécanique des matériaux anisotropes par microscopie à pointe vibrante

Fatah Maloum[a,b]; Yves Gaillard[a]; Pascal Vairac[b]; Fabien Amiot[a]

a.Institut Femto-st, Départ. Méc'Appli, 24 rue de l'Epitaphe, 25030 Besançon

b.Institut Femto-st, Départ. MN2S, 15B avenue des Montboucons, 25044 Besançon

La mise au point du microscope à force atomique (AFM) par Binnig et al. en 1986 [1], a constitué un renouveau quant à l'investigation surfacique et subsurfacique des matériaux. Une caractérisation mécanique locale était désormais envisageable. C'est dans cet objectif que le microscope à pointe vibrante (Scanning Microdeformation Microscope, SMM) a vu le jour au sein de l'institut Femto-st. Le SMM est basé sur un capteur vibrant, composé d'une poutre en silicium surmontée d'une pointe en diamant. Il est mis en vibration alors qu'il est en contact avec l'échantillon. Cretin et Sthal [2] ont montré la capacité du SMM fonctionnant alors en mode transmission (c'est alors la vibration de la face arrière de l'échantillon qui est mesurée par un transducteur piézoélectrique) à distinguer de manière qualitative plusieurs phases ayant des rigidités différentes. Depuis les travaux de Vairac et al. [3], le SMM est utilisé en mode de réflexion: c'est alors la vibration de la poutre qui est mesurée grâce à un interféromètre hétérodyne [4]. Et le volume testé est ainsi de quelques µm^3. La mesure de la fréquence du premier mode de résonance du capteur vibrant lorsqu'il est en contact donne alors accès (si la géométrie du capteur est bien maîtrisée) au module réduit du matériau (isotrope) constituant l'échantillon.

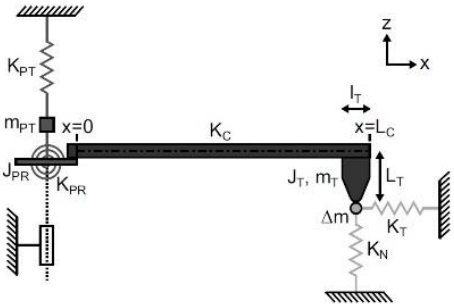


Figure 1: Modèle du SMM [5]

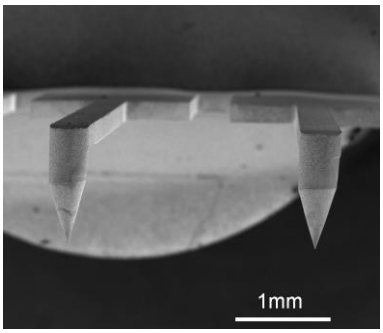


Figure 2: Capteur vibrant en carbure de tungstène

La richesse du modèle décrivant le SMM [5] (Figure 1), a depuis permis, via une approche multimodale d'extraire le module d'Young et le coefficient de Poisson de manière découplée sur un matériau isotrope (une résine époxy photosensible, le SU-8). La principale perspective en cours de développement est l'application aux matériaux anisotropes. Pour ce faire, le capteur vibrant est maintenant réalisé de manière monolithique en carbure de tungstène (Figure 2) par micro-électroérosion, permettant par la maitrise des paramètres géométriques une meilleure reproductibilité des résultats. La forme de la pointe obtenue autorise la visualisation du champ de déplacement autour de la pointe en contact avec l'échantillon. On accède alors à une information mécanique supplémentaire, nécessaire à l'étude des matériaux anisotropes.

Références.

[1] Binnig, G., Quate, C. F., & Gerber, C. (**1986**). Atomic force microscope. *Physical Review Letters*, *56(9)*, 930.
[2] Cretin, B., & Sthal, F. (**1993**). Scanning microdeformation microscopy. *Applied Physics Letters*, *62(8),* 829-831.
[3] Vairac, P., & Cretin, B. (**1996**). Scanning microdeformation microscopy in refection mode. *Applied physics letters*, *68(4),* 461-463.
[4] Vairac, P., & Cretin, B. (**1996**). New structures for heterodyne interferometric probes using double-pass. *Optics Communications*, *132(1),* 19-23.
[5] Travaillot, T. (**2014**). Caractérisation mécanique des matériaux élastiques à l'échelle locale par microscopie à pointe vibrante: Approche multimodale et mesure de champs (*Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté*).

Session 7 « Roestis » Mardi 22 Mars, 17h20 - 18h00

Le rösti ou rœsti est une galette de pommes de terre, typique de la Suisse alémanique. Ce plat a donné son nom à la frontière symbolique séparant la Suisse romande et la Suisse alémanique, le Röstigraben (littéralement « fossé de rösti »).

Ce plat a ensuite été rapporté en Franche-Comté par les nombreux frontaliers qui travaillent en Suisse. Il fait partie intégrante de la gastronomie franc-comtoise, en particulier comme plat accompagnant la saucisse de Morteau.

17h20 : **Nanosurf**

17h28 : **Scientec**

17h36 : **SPECS**

17h44 : **Nano And More**

17h52 : **AxessTech**

18h00 : **Vib & Tec**

Flex-ANA

AFM for Automated Nanomechanical Analysis

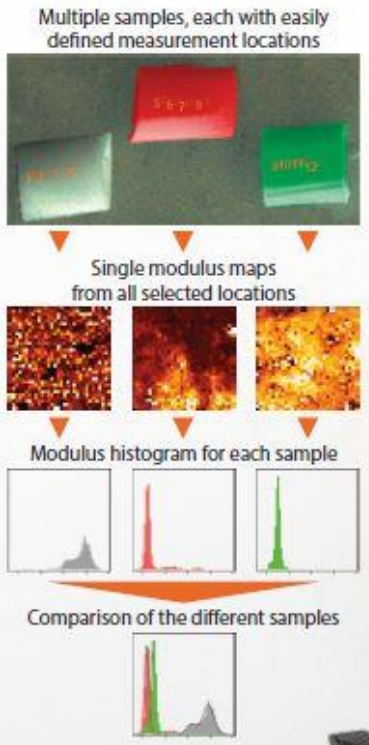
Real-time, automated data collection and analysis

Proprietary algorithm to cope with large variations in sample height

Ideal for nanomechanical testing of soft, rough, and sticky samples

Small indentation depths and forces (below 7 pN in liquid)

Reduced viscoelastic effects



nanosurf

Next-Level Nanotechnology Tools

Info@nanosurf.com / www.nanosurf.com swiss quality

SCIENTEC

Atomic Force Microscopy

Nano-Observer

The Best Price/Performance
AFM Microscope

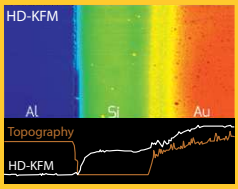
MLFM

Magnetic Lateral
Force Microscopy

NEW

HD-KFM™

High Definition Kelvin
Force Miroscopy

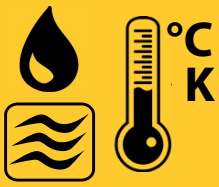


ResiScope™

AFM Electrical characterization
10 orders of magnitude
Soft ResiScope: on Fragile sample

Environments

EZ liquid, EZ Temp,
Environmental control



CSI Concept Scientific Instruments

NEW

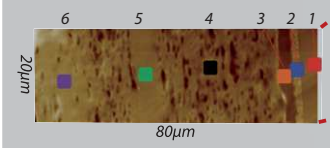
Nano IR2™

AFM + IR spectroscopy

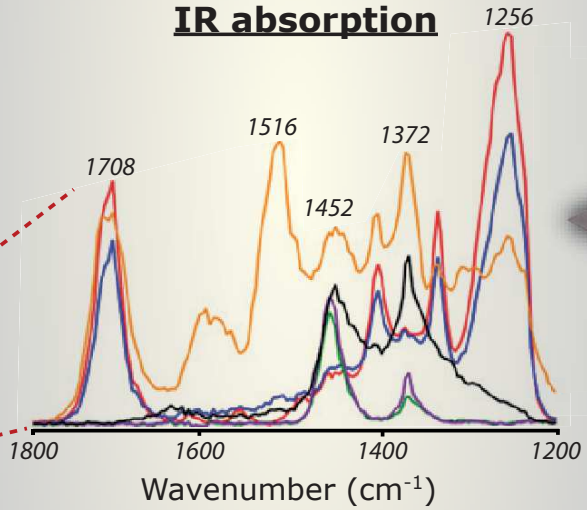
The world's greatest in nanoscale Infra-Red Spectroscopy

"With AFM-IR we can now 'see' the chemistry in the morphology."
Dr. Greg Meyers

AFM Topography



IR absorption



ANASYS INSTRUMENTS
The nanoscale analysis company

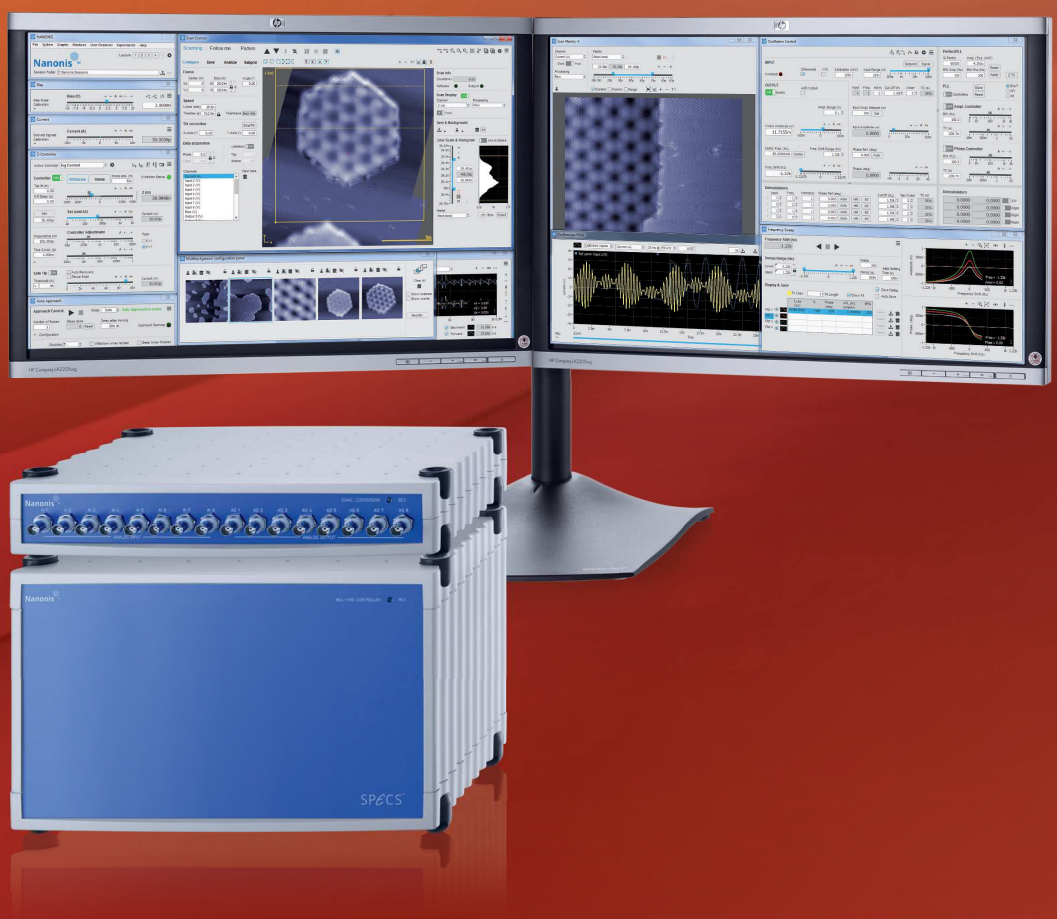
For more information contact ScienTec at info@scientec.fr or visit us on our stand

Nanonis™ BP5

SPM CONTROL SYSTEM BASE PACKAGE 5

KEY FEATURES

- Operation-Optimized User Interface
- Full Flexibility for most Advanced Measurement Techniques
- Uncompromising Signal Quality
- Works with any SPM in any Mode
- Future-proof state-of-the-art Hardware



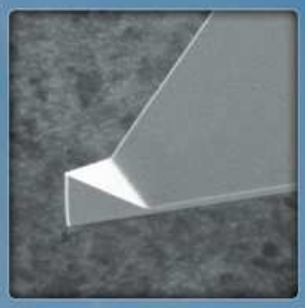
SPECS Surface Nano Analysis GmbH

T +49 (0)30 46 78 24-0
E info@specs.com
H www.specs.com

SPECS™

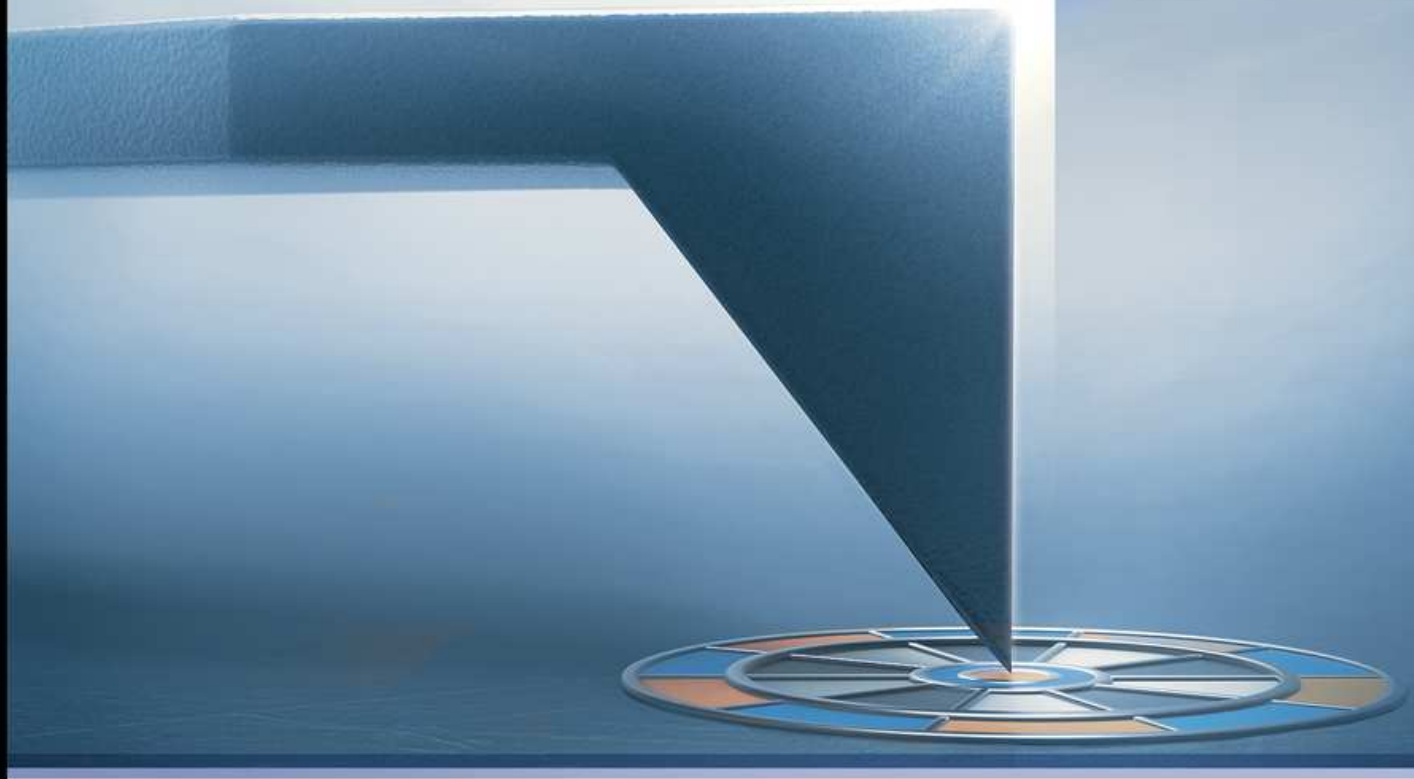
OPUS by μmasch

WWW.OPUSTIPS.COM



Sondes AFM
pour positionnement optimisé

- Pointe visible en bout de levier
- Excellence qualité
- Aux meilleurs prix



Demandez des échantillons de test gratuits auprès de:

NANOANDMORE
The World of Science and Technology

NanoAndMore France
33 rue Vital 75016 PARIS
www.nanoandmore.fr

Tél: 01 42 88 29 67
fax 01 42 88 32 07
info@nanoandmore.fr

Ingénierie et fabrication d'ensembles complets sur mesure pour le Vide et l'Ultra-Vide

NANOMAGNETICS INSTRUMENTS

ARUN MICROELECTRONICS LTD · FOCUS · MikroMasch µmasch · MANTIS Partnered with SIGMA Surface Science · minus k TECHNOLOGY VIBRATION ISOLATION PRODUCTS

AXESS TECH 750, Chemin de Beaupré 13760 Saint-Cannat
Tél : +33 (0)4 42 57 30 06 Fax : +33 (0)4 42 50 68 46 E-mail : info@axesstech.fr

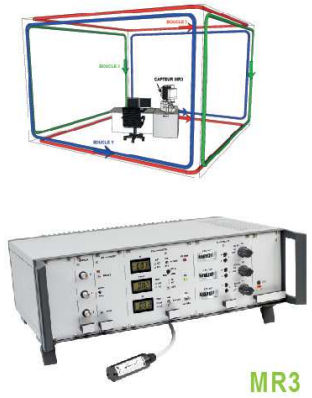
Votre partenaire au service de la QUALITE et la FIABILITE en imagerie et microscopie

VIB&TEC

TECHNOLOGIES ANTIVIBRATOIRES
COMPENSATION ELECTROMAGNETIQUE

PLATEFORMES ANTIVIBRATOIRES ACTIVES (MEB, MET, STM...)

Traitement pièce entière | Traitement local



COMPENSATEURS DE CHAMPS MAGNETIQUES

PLATEAUX ANTIVIBRATOIRES

Analyse vibratoire et champs électromagnétiques

TABLES ERGONOMIQUES

TABLES OPTIQUES

TABLES GRANIT

TABLES ANTIVIBRATOIRES PASSIVES ET ACTIVES

NOS PARTENAIRES

Stefan Mayer Instruments
Fluxgate Magnetometers & more

Bilz®

igbmc
institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire

VIB et TEC SAS

ZI - 2 rue de Colmar 68220 HESINGUE - FRANCE

Tél. *+33 3 89 69 11 90* ***Fax.*** *+33 3 89 69 04 72*

www.vib-et-tec.fr ***info@vib-et-tec.fr***

Télécharger la plaquette laboratoire sur notre site : www.vib-et-tec.fr

NTEGRA SPECTRA

AFM - Raman - SNOM - TERS

The most open, versatile & customizable system for any research needs.

- Universal integration of **AFM with light microscopy and spectroscopy**
- **Advanced light microscopy** capabilities simultaneously with AFM: confocal Raman & fluorescence, high speed confocal microscopy, lifetime imaging etc.
- **Controlled environment**: atmosphere, humidity, temperature, liquid, electrochemistry, external magnetic field.
- Complete set of existing **SNOM** modes.
- **Excellent TERS performance**
- **With new PX controller Spectra comes with more than 50 built-in modes**

NT-MDT

Your AFM & Raman Company WWW.NTMDT.COM

SpectrumInstruments LTD.

Your supplier of NT-MDT products www.spectrum-instr.com

Find more on NT-MDT online at -

Session 8 « Toutché » Mercredi 23 Mars, 8h30 - 10h20

Le « toutché » est la grande spécialité du Pays de Montbéliard en matière de pâtisserie. Son nom provient du goumeau à base de crème et d'œuf le recouvrant. Il est aussi appelé « gâteau de ménage ».

Il existe en version sucrée ou en version salée. On le retrouve souvent sur la table à l'apéritif, lors des pots de l'amitié et même lors des mariages.

8h30 : **Sacha Loeve**, GIS UTSH (COSTECH/RECITS).
Cours : Champ proche et objectivité

9h30 : **Hubert Klein**, CINAM UMR 7325 CNRS Campus de Luminy.
Caractérisation de l'émission lumineuse d'une jonction métallique de section atomique

9h55 : **Faycal Mechehoud**, IS2M UMR 7361 CNRS Université de Haute Alsace, LPC2ME Université d'Oran I Ahmed Benbella.
Croissance par voie électrochimique et propriétés magnétiques et topographiques de couches minces de Co sur Si(111)

Champ proche et objectivité

Sacha Loeve

GIS UTSH
Unité de la Technologie et des Sciences Humaines

COSTECH / RECITS

Les microscopies en champ proche ou à sonde locale (SPMs) ont joué un rôle majeur dans l'émergence des nanosciences et nanotechnologies (NST). En générant des images de la matière à l'échelle nanométrique et – surtout – de nos capacités à en manipuler la structure et les constituants élémentaires, les SPMs ont appuyé la montée en puissance du thème NST dans les priorités des politiques de recherche à une échelle internationale. Elles ont permis un renouveau de disciplines aussi diverses que la science des surfaces, la physique mésoscopique, l'électronique moléculaire ou la biophysique en les enrôlant dans la vague « nano », et ont fait exister le « nanomonde » en images aux yeux du grand public. Cependant, la microscopie en champ proche est aussi porteuse d'enjeux épistémologiques inédits et beaucoup moins étudiés.

Par-delà la *success-story*, on reviendra sur quelques moments de l'histoire de la microscopie en champ proche en montrant comment celle-ci a modifié une des valeurs cardinales de la connaissance scientifique : l'objectivité. Classiquement, l'objectivité a pour condition des procédures intellectuelles et instrumentales de séparation de l'intervention et de la représentation, du sujet et de l'objet, des valeurs et des faits, de l'image et du réel, toujours représenté à distance. L'émergence des sciences modernes dans leur capacité à « représenter la nature » et à tenir ces représentations pour « objectives » est indissociable de *technologies de la distanciation* qui, de la pompe à air à la microscopie électronique, ont pour vocation de séparer, au moins en principe, les contributions respectives de la « nature » et du système expérimental dans le déroulement du phénomène étudié. La SPM, au contraire, déplace constamment la ligne de partage entre système observé et système observant ; elle n'est plus fondée sur la mise à distance du réel mais sur la recherche d'une proximité, d'une interactivité, d'une connectivité et d'une sensitivité maximales à l'objet étudié et manipulé. Les images qu'elle génère ne sont plus des représentations distales de l'objet mais des *surfaces d'interaction proximales* avec l'objet. Ces images ne sont plus de simples intermédiaires entre sujet connaissant et objet à connaître, mais des concrétisations des interactions que l'objet établit avec son environnement et avec d'autres objets. La SPM remet donc en question les partages sur lesquels se fonde la conception classique de l'objectivité, et invite à repenser cette notion.

Caractérisation de l'émission lumineuse d'une jonction métallique de section atomique

Tuhiti Malinowski, Maksym Yazikov, Philippe Dumas, **Hubert Klein**

CINAM UMR 7325 CNRS, case 913, Campus de Luminy, F-13288 Marseille cedex 9

La compréhension et le contrôle des interactions électrons / électrons et électrons / phonons dans les solides est capitale tant du point de vue fondamental que du point de vue des applications, notamment pour les dispositifs de dimensions nanométriques (nanoantennes, LEDs…). Les jonctions métalliques de sections atomiques, étudiées maintenant depuis plusieurs décennies, sont des prototypes parfaitement adaptés à ce type d'étude. Si elles sont considérées comme des conducteurs balistiques, siège de densité de courant énormes ($j \approx 10^{16}$ A.m^{-2}), elles émettent pourtant de la lumière, signature de phénomènes inélastiques *a-priori* liés aux interactions entre électrons dans la constriction. Les analyses de la lumière émise par de telles structures dans le visible sont rendues délicates par la présence de résonances plasmoniques. De fait, le ou les mécanismes d'émission sont toujours activement discutés. Nous présenterons les premières mesures d'émission lumineuse dans le proche IR (2-5µm), gamme dans laquelle nous n'attendons pas de résonances plasmoniques comparables à celles observées dans le visible [1].

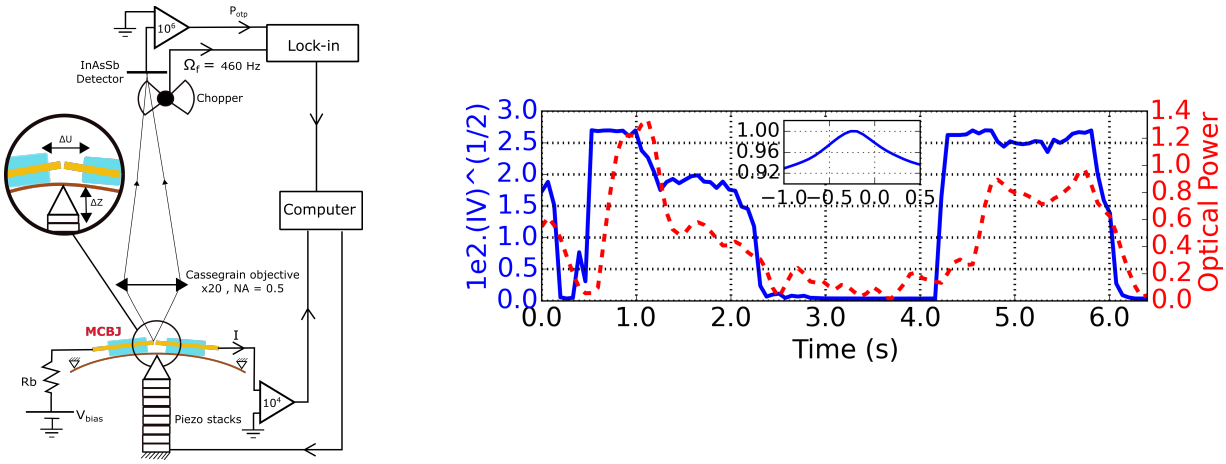


Figure 1 : **Gauche :** dispositif expérimental d'acquisition. La jonction brisée est placée dans le plan focal d'un objectif à miroir. Le signal optique est haché l'acquisition se faisant à l'aide d'un lock-in. **Droite** : Enregistrement simultané de la conductance d'une jonction et de la puissance optique émise. On observe une claire corrélation entre les 2 signaux (insert) .

Notre dispositif d'étude est une jonction brisée contrôlée mécaniquement (MCBJ) [2], couplée à un microscope optique ou un capteur proche IR. Ce dispositif nous permet de contrôler des variations picométriques de distance entre électrodes, et de stabiliser des jonctions dont la conductance est proche du quantum de conductance G_0 pour des durées dépassant la seconde. Cette grande stabilité nous a permis de réaliser des mesures malgré la faible sensibilité des détecteurs existants.

Nous avons pu mesurer la puissance optique émise en fonction de la puissance électrique injectée, et avons réalisé des mesures spectroscopiques rudimentaires (3 bandes). L'ensemble de ces résultats sont en bon accord avec un mécanisme de type radiation d'un corps noir trouvant son origine dans le gaz d'électrons chauds dont nous avons pu estimer la température. Des mesures réalisées dans le visible à température ambiante, sont concordantes avec ces résultats.

Références

[1] Savage K.J *et al*, *Nature*, **2012**, 491, 574577

[2] Alwan M. , Candoni N., Dumas Ph., Klein H., *European Physical Journal B*, **2013**, 86, 243

Croissance par voie électrochimique et propriétés magnétiques et topographiques de couches minces de Co sur Si(111)

Fayçal MECHEHOUD[1,2], Jean-Luc BUBENDORFF[1], Samar HAJJAR-GARREAU[1], Ahmed MEHDAOUI[1], Christian MENY[3], Abdelbacet KHELIL[2]

[1] Université de Haute Alsace (UHA), Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M), UMR 7361 du CNRS, 3b rue Alfred Werner, 68093 Mulhouse, France.
[2] Université d'Oran I Ahmed Benbella, Laboratoire de Physique des Couches Minces et Matériaux pour l'Electronique (LPC2ME), BP 1524, El M'Naouer, 31000 Oran, Algérie.
[3] Université de Strasbourg, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS), UMR 7504 du CNRS, Département Magnétisme des Objets NanoStructurés (DMONS), 23 rue du Loess, 67034 Strasbourg cedex2, France.

Le magnétisme des couches ultra-minces et des multicouches est un domaine de recherche très actif en interaction permanente avec le monde industriel à travers des applications en matière de stockage de l'information. Les progrès réalisés jusqu'à maintenant dans la compréhension de ses systèmes viennent essentiellement d'un meilleur contrôle des modes de croissance à travers des études détaillées de la corrélation entre la structure des couches et leurs propriétés magnétiques, principalement dans un environnement sous Ultra-Haut-Vide (UHV). Nous nous intéressons au dépôt électrochimique sur substrat semi-conducteur essentiellement sur Si. L'objectif comme pour les dépôts d'éléments magnétiques sur substrat métallique est, soit de réaliser des nanostructures (nanofils, plot avec rapport hauteur/largeur bien contrôlé, nano-particules organisées, …), soit des couches ultra-minces aux applications potentielles en électronique de spin (jonction Schottky métal/semiconducteur, aimantation perpendiculaire, magnéto-résistance géante pour des multicouches, …).

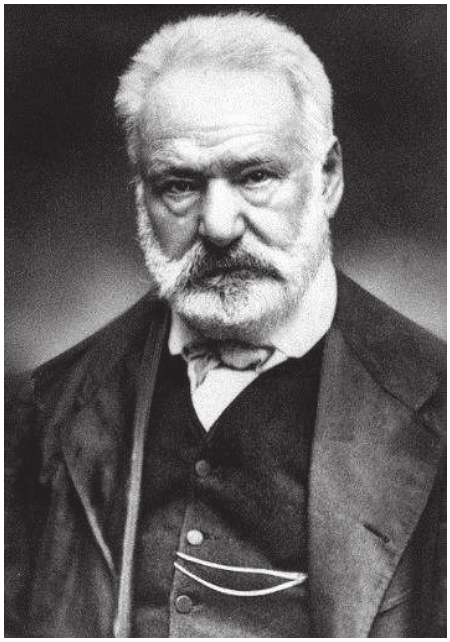
Compte-tenu du grand nombre de paramètres modifiables en électrochimie, nous avons optimisé les conditions de préparation (bain, concentration, choix du substrat (dopage, résistance), pH, chronoampérométrie à un potentiel fixé, …) afin d'obtenir des films minces de matériau ferromagnétique de Co sur substrat semi-conducteur de n-Si(111), puis caractérisé les propriétés magnétiques des dépôts obtenues par Résonance Magnétique Nucléaire (RMN), SQUID et magnétométrie par effet Kerr. Notre travail montre que la voie électrochimique a l'avantage par rapport à l'épitaxie par jets moléculaires de contrôler de manière plus univoque la relation structure-propriété par le potentiel appliqué.

A l'aide de la voltampérométrie cyclique et du Microscope à Force Atomique (AFM), nous avons étudié les différents stades de la croissance et avons ainsi pu comprendre l'influence du potentiel appliqué et du substrat sur la croissance de nos couches. Nous avons ainsi montré qu'à des surtensions faibles, le mode de nucléation et de croissance est un mélange de nucléation instantané et progressive suivant les modèles de Schariffker-Hills. Lorsque la surtension augmente, la part de nucléation progressive augmente dans le processus global pour devenir le processus dominant ce qui conduit à des morphologies du dépôt différentes, analysées par AFM. Nous avons ensuite effectué une étude de la croissance et de la relation morphologie-propriétés magnétiques d'un dépôt de Co en fonction de son épaisseur à un potentiel fixé de -1.7V/SCE. La croissance suit des lois d'échelle. L'aimantation est dans le plan et isotrope. Quelques essais en mode galvanostatique, qui aurait l'avantage de permettre un parfait contrôle de l'épaisseur de Co déposé, montrent clairement que cette voie d'électrodéposition ne permet pas de contrôler le mode de croissance du Co, celui-ci étant vraiment sous le contrôle du potentiel qui fluctue lors de ce type d'expérience. Par contre, ce mode conduit à la formation de cristaux de Co présentant un début de formation de domaines magnétiques qui ont été étudiés par Microscopie à Force Magnétique (MFM).

Désirant développer le mode potentiostatique de dépôt pulsé, nous avons également effectué une étude très critique des techniques de dépôt/arrachage employées dans la littérature montrant que celles-ci sont inadaptées au substrat semi-conducteur. Notre but était de comprendre le mécanisme conduisant au maintien d'un dépôt en surface suite à des cycles de dépôt/dissolution communément employés dans la littérature et comme nous le montrons dans ce travail à mauvais escient. En effet, cette méthode conduit à la formation d'une couche d'hydroxyde de Co en surface (XPS) ce qui conduit en-dessous d'une certaine épaisseur à la perte des propriétés magnétiques du dépôt de Co (SQUID).

Notre travail a montré l'influence déterminante du potentiel et de la structure cristalline de l'électrode-substrat employée et devrait ouvrir la voie à une meilleure maîtrise de la reproductibilité des dépôts métalliques sur substrat semi-conducteur sous contrôle potentiostatique.

Session 9 « Victor » Mercredi 23 Mars, 10h45 – 12h00



Victor Hugo est né le 26 février 1802 à Besançon et il est mort le 22 mai 1885 à Paris. C'est un poète et dramaturge romantique considéré comme l'un des plus importants écrivains de langue française. Ce fut aussi une personnalité politique et un intellectuel engagé qui a joué un rôle majeur dans l'histoire du XIXe siècle.

Victor Hugo occupe une place marquante dans l'histoire des lettres françaises au XIXe siècle, dans des genres et des domaines variés.

Il est notamment connu grâce à son recueil de poèmes *Les Contemplations* publié en 1856 et son roman *Les Misérables* paru en 1862.

10h45 : **Laurent Nony**, IM2NP UMR 7334 CNRS Université Aix-Marseille.
Couplage Df/courant tunnel en nc-AFM/STM : un nouveau paradigme.

11h10 : **Jean-Paul Salvetat**, CRPP CNRS.
Microscopie à force atomique en mode dynamique avec des sondes MEMS haute fréquence (>10MHz) - Application aux surfaces viscoélastiques.

11h35 : **Audrey Steinberger**, ENS Lyon Laboratoire de Physique CNRS Université Claude Bernard Université de Lyon.
Microrhéologie par sonde AFM fibrée.

Couplage Δf / courant tunnel en nc-AFM / STM : un nouveau paradigme

Laurent NONY, Franck BOCQUET, Franck PARA, Christian LOPPACHER

Aix-Marseille Université, CNRS, IM2NP UMR 7334, 13397, Marseille, France

Les oscillateurs à quartz (Quartz Tuning Forks, QTF) sont utilisés dans des expériences de champ proche combinant AFM non-contact (nc-AFM) et STM depuis 2000, grâce aux travaux de F.Giessibl [1] sur Si(111)7x7. Depuis, ils sont à l'origine de beaucoup de résultats spectaculaires dans le domaine et ont démontré tout leur potentiel en termes de stabilité et de sensibilité de la pointe oscillante aux forces d'interaction courte-portée [2, 3]. Néanmoins depuis 2011, ils alimentent une controverse. Plusieurs groupes [4,5] ont en effet reporté un couplage entre deux principales observables de mesure : le courant tunnel et le décalage en fréquence Δf. Deux approches ont été développées jusque-ici qui proposent deux cadres explicatifs au couplage. La première, reportée sur des échantillons semi-conducteurs, évoque une force « fantôme » liée à la résistivité locale de l'échantillon qui induit une réduction du potentiel effectif pointe-surface et ainsi une modification locale de la force pointe-surface [4]. La seconde explique le couplage par des effets instrumentaux [5].

La nôtre propose un nouveau paradigme [6]. Au voisinage de la surface, la partie alternative du courant tunnel oscillant entre la pointe et la surface génère un champ électromagnétique apte à déformer, dynamiquement, le QTF par effet piézoélectrique inverse. Simultanément, le champ rayonné charge les électrodes du QTF par influence. La déformation dynamique du QTF conduit par effet inertiel à la perturbation mécanique de l'oscillation de la pointe. L'effet d'influence, lui, n'induit aucune oscillation physique du QTF, mais augmente néanmoins le courant piézoélectrique total généré par le QTF. Cette augmentation va être détectée par l'électronique de mesure et interprétée comme une modification de l'amplitude d'oscillation. Ces éléments laissent entrevoir la perturbation du Δf par le courant tunnel oscillant, mais également celle du signal de dissipation (damping). Dans ces conditions, l'interprétation des mesures de force devient délicate.

Nos résultats expérimentaux seront présentés et discutés sur la base d'un modèle électrique équivalent spécifique du QTF et de simulations numériques décrivant précisément le mode de fonctionnement combiné nc-AFM/STM avec un QTF.

Références

[1] Giessibl, F., *Appl. Phys. Lett.* **2000**, *76,* 1410

[2] Gross, L. *et al.*, *Science* **2009**, 325, 1110

[3] Zhang, J. *et al.*, Science **2013**, 342, 611

[4] Weymouth, A. *et al.*, *Phys.Rev.Lett.* **2011**, *106*, 226801

[5] Majzick, Z. *et al.*, *Beilstein J. Nanotechnol.* **2012**, 3, 249

[6] Nony, L., Bocquet, F., Para, F., Loppacher, Ch., *Phys.Rev.Lett.* **2016** (submitted)

Microscopie à force atomique en mode dynamique avec des sondes MEMS haute fréquence (>10MHz) - Application aux surfaces viscoélastiques

Jean-Paul SALVETAT[1], Jean-Pierre AIME[2], Bernard LEGRAND[3], Marc FAUCHER[4&5], Benjamin WALTER[5]

1 CNRS, CRPP, 115 avenue Schweitzer, Pessac
2 CNRS, CBMN, Allée Geoffroy Saint-Hilaire, Pessac
3 CNRS, LAAS, 7 avenue du Colonel Roche, Toulouse
4 CNRS, IEMN, Avenue Poincaré, Villeneuve d'Ascq
5 Vmicro S.A.S., IEMN, Avenue Poincaré, Villeneuve d'Ascq

Nous présenterons les derniers résultats obtenus avec un AFM assemblé à l'IECB par l'équipe instrumentation du CRPP dans le cadre du projet d'investissement d'avenir *Vibbnano*. Cet AFM, unique en son genre, le terme n'est pour une fois pas galvaudé, utilise comme sondes des résonateurs MEMS* haute fréquence (cf figure 1) fabriqués à l'IEMN, dont l'actionnement et la détection capacitives sont intégrés [1-3]. Nous décrirons brièvement le mode de fonctionnement d'un tel AFM, et le comparerons avec les autres types d'AFM à base de résonateurs rigides en quartz ou de leviers. L'AFM-MEMS a été testé avec succès en imagerie et en mode Z-spectroscopie sur des matériaux viscoélastiques de différentes structures et de divers modules élastiques. C'est en effet sur ce type de matériaux que l'AFM-MEMS se distingue le plus des AFM utilisant des leviers de faible raideur. Nous insisterons notamment sur la possibilité de travailler en régime de contact adhésif dynamique sur des surfaces molles et de mettre ainsi en évidence des inhomogénéités de viscoélasticité avec une résolution nanométrique sans indenter la surface (cf fig. 1).

* MEMS : Micro Electro Mechanical Systems

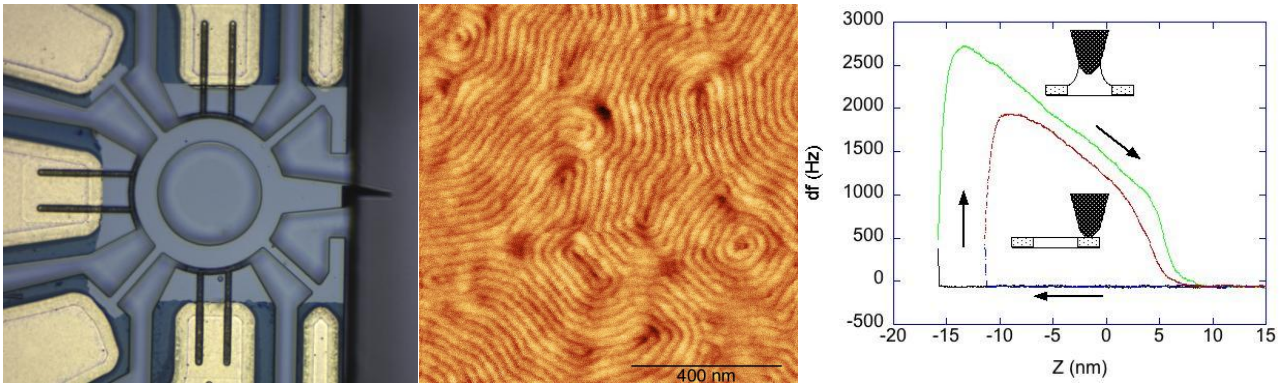


Figure 1 : De gauche à droite : Des résonateurs haute fréquence (env. 13MHz) sont utilisés comme sondes d'un microscope AFM en mode dynamique (AM et FM-AFM). L'image en topographie d'un copolymère à bloc obtenue avec l'AFM-MEMS en régime de contact adhésif est caractérisée par une inversion de contraste par rapport à un AFM classique. Les courbes d'approche-retrait sont caractéristiques des sondes MEMS sur matériaux mous.

Références

[1] Walter, B.; Faucher, M.; Algré E.; Legrand, B.; Boisgard, R.; Aimé, J.P.; Buchaillot, L. Design and operation of a silicon ring resonator for force sensing applications above 1 MHz, , *Journal of Micromechanics and Microengineering* **2009**, *19*, 115009

[2] Algré, E.; Xiong, Z.; Faucher, M.; Walter, B.; Buchaillot, L.; Legrand B. MEMS ring resonators for laserless AFM with sub-nanoNewton force resolution, *Journal of Microelectromechanical Systems* **2012**, *21*, 385

[3] Houmadi, S.; Legrand, B.; Salvetat, J.P.; Walter, B.; Mairiaux, E.; Aimé, J.P.; Ducatteau, D.; Merzeau, P.; Buisson, L.; Elezgaray, J.; Théron, D.; Faucher, M. When capacitive transduction meets the thermomechanical limit: Towards femto-newton force sensors at very high frequency. *Proceedings of 28th IEEE Conference on Micro Electro Mechanical Systems* **2015**, 150

Microrhéologie par sonde AFM fibrée

Sébastien KOSGODAGAN ACHARIGE[1], Michael BENZAQUEN[2], Clémence DEVAILLY[1], Justine LAURENT[1], **Audrey STEINBERGER**[1]

[1]*Univ Lyon, Ens de Lyon, Univ Claude Bernard, CNRS, Laboratoire de Physique, F-69342 Lyon, France*

[2]*ESPCI, CNRS, Laboratoire Gulliver, 75231 Paris, France*

Pour sonder localement les propriétés d'un fluide, les méthodes usuelles de microrhéologie utilisent des traceurs micrométriques dispersés dans le fluide, dont le mouvement est suivi par des méthodes optiques. Elles sont donc essentiellement limitées à des milieux transparents [1]. Pour s'affranchir de cette limitation, nous avons développé une méthode de microrhéologie par AFM à sonde fibrée en nous inspirant des travaux de Xiong et al. [2]. Dans cette technique, un levier AFM est fonctionnalisé par une fibre cylindrique, qui peut être plongée dans le liquide d'intérêt sans que le levier soit immergé (voir Figure 1). Le spectre des fluctuations thermiques du levier est alors mesuré en fonction de la profondeur *h* d'immersion de la fibre, à l'aide du dispositif de mesure interférométrique à haute résolution développé par L. Bellon [3].

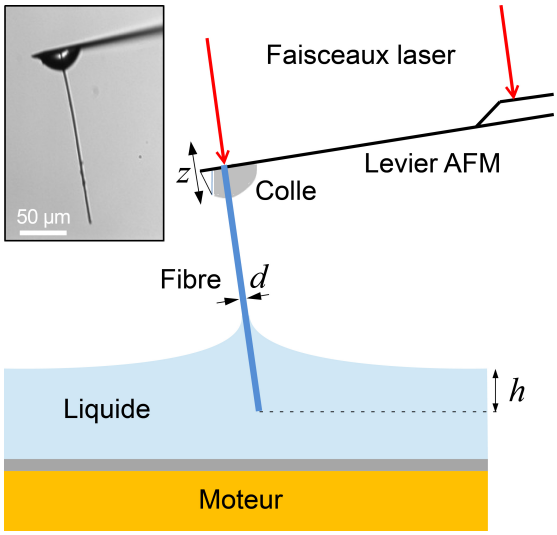


Figure 1 : Schéma du dispositif expérimental pour les mesures de microrhéologie par AFM fibré. En insert : image optique de l'extrémité d'un levier AFM fonctionnalisé avec une fibre en verre de 250 µm de long et 3 µm de diamètre.

Nous avons testé cette technique en utilisant une série de liquides simples et bien caractérisés (huiles silicones et alcanes). En analysant les spectres de fluctuations thermiques du levier, nous pouvons mesurer la dissipation visqueuse [4] et la masse ajoutée induites par le liquide sur le système {levier+fibre}, en fonction de la profondeur d'immersion *h* et du diamètre *d* de la fibre. Nous présenterons ici les résultats obtenus et nous les comparerons à un modèle qui décrit la force exercée par un liquide sur un cylindre infini oscillant longitudinalement.

Remerciements : ce travail a été réalisé avec le soutien financier de l'ERC OUTEFLUCOP et de l'ANR NANOFLUIDYN

Références

[1] Cicuta, P.; Donald, A.M. *Soft Matter* **2007**, *3*,1449
[2] Xiong, X.; Guo, S.; Xu, Z.; Sheng, P.; Tong, P. *Physical Review E* **2009**, *80*, 061604
[3] Paolino, P.; Aguilar Sandoval, F.; Bellon, L. *Rev. Sci. Instrum* ***2013***, *84*, 095001
[4] Devailly, C.; Laurent, J.; Steinberger, A.; Bellon, L.; Ciliberto S. *EPL* **2014**, *106*, 54005

Session 10 « Jésu » Mercredi 23 Mars, 14h00 – 15h40

Le jésu (ou jésus) de Morteau est une présentation plus volumineuse de la saucisse de Morteau, puisque son diamètre atteint les 7 ou 8 centimètres et que son poids affiche sur la balance entre 500 grammes et 1 kilogramme. Cette énorme saucisse droite de forme cylindrique se montre également plus irrégulière que la saucisse. Autre différence : si le jésu(s) est embossé dans le caecum (boyau naturel), la cheville de bois n'est pas systématiquement présente, le caecum se trouvant fermé naturellement à l'une de ses extrémités. Le jésu de Morteau est protégé par une IGP depuis 2010.

14h00 : **Rosine Coq Germanicus**, CRISMAT-LaMIPS Laboratoire Commun ENSICAEN UCBN NXP PRESTO UMR CNRS 6508.
Détection des états de surface à l'interface Si/SiO2 par balayages successifs en mode SSRM

14h25 : **Hailu Gebru Kassa**, Laboratory for Chemistry of Novel Materials CIRMAP University of Mons.
Characterization of hybrid nanostructures for energy conversion and storage devices by atomic force microscopy techniques

14h50 : **Simon Martin**, Institut des Nanotechnologies de Lyon INSA Lyon CNRS UMR 5270.
Caractérisation électrique de couches minces ferroélectriques à l'échelle nanométrique par PFM

15h15 : **Jorge Trasobares**, IEMN CNRS & Université de Lille
Molecular diode at 17 GHz studied by iSMM (interferometric scanning microwave microscope)

Détection des états de surface à l'interface Si/SiO_2 par balayages successifs en mode SSRM

Rosine COQ GERMANICUS[1], Philippe Leclère[2], Yannick Guhel[3], Bertrand Boudart[3], Philippe Descamps[1], Eric Hug[4], Pierre Eyben[5]

[1] *CRISMAT-LaMIPS, Laboratoire commun ENSICAEN, Unicaen, NXP, PRESTO, UMR CNRS 6508 Caen France.*
[2] *Service de Chimie des Matériaux Nouveaux, CIRMAP Université de Mons, Belgium.*
[3] *Unicaen, LUSAC, Cherbourg Octeville, France.*
[4] *CRISMAT, Unicaen UMR CNRS 6508 Caen France.*
[5] *IMEC, Kapeldreef 75, 3001 Leuven, Belgium.*

Le mode électrique Scanning Spreading Resistance Microscopy (SSRM) [1] permet de cartographier la résistivité du système pointe-échantillon lorsque la pointe conductrice est en contact étroit avec la surface à analyser. Dans ce papier, nous proposons une étude paramétrique des modifications des propriétés électriques et microstructurales du nano-contact pointe-échantillon lors d'acquisitions successives d'images SSRM. L'échantillon étudié est constitué de couches épitaxiées de type n et p, de différents dopages allant de 10^{15} à $7{,}9 \times 10^{19}$ at/cm^3. Une pointe conductrice classique recouverte de diamant a été utilisée pour les mesures. Lors du balayage, afin de former une zone de contact de type β-tin, une force de 13 µN est maintenue [2]. Deux potentiels V_{DC} (± 500 mV) sont appliqués. La Figure 1.a représente l'acquisition SSRM, pour 3 balayages successifs en élargissant la zone d'analyse dans la direction Y. Ainsi la région III (12 x 4 µm) a été balayée trois fois, la zone II a subi deux fois l'effet de l'interaction pointe-échantillon et la région I qu'une seule fois. Nous pouvons observer l'impact des passages répétitifs par une amélioration du signal SSRM et de la délimitation de la jonction PN dès le 2ième passage. De plus, pour les faibles dopages notamment de type p, en polarisation inverse lorsque le contact Schottky est bloqué, le courant collecté lors des passages suivants est diminué, la résistance mesurée est augmentée d'un facteur proche de 10^3. Afin de déterminer l'origine de cette différence de détection de courant, nous avons exploré les caractéristiques microstructurales du silicium après la mesure SSRM.

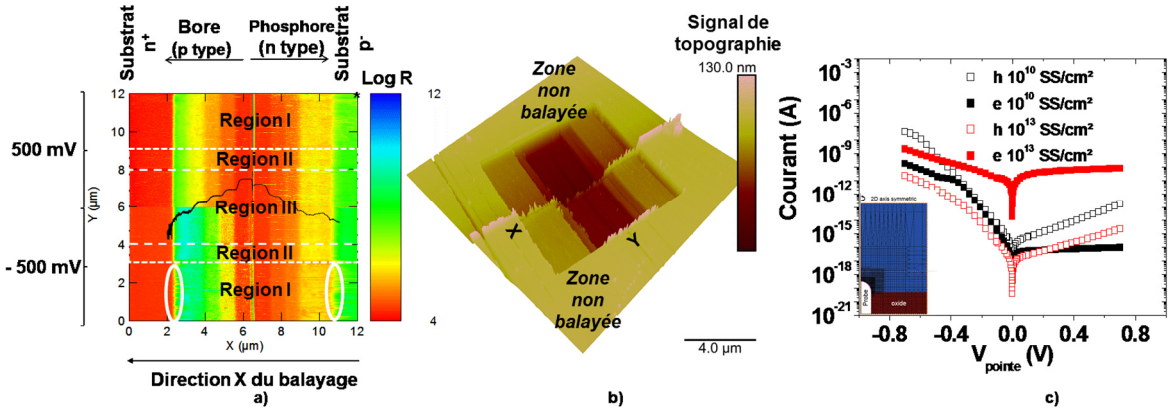


Figure 1 : a) Cartographie de la résistivité mesurée par SSRM après 3 scans successifs, b) topographie de la zone scannée c) I(V) déterminé par Sentaurus device avec et sans états de surface (SS) pour un dopage bore de 10^{15} at/cm^3

Lors de l'interaction pointe-échantillon, la pointe recouverte de diamant agit comme un nanoindenteur et induit une déformation plastique du silicium [3] (Figure 1.b) d'une profondeur résiduelle de 27 nm lors de la première image et de 17 nm pour les balayages suivants. Les mesures de spectrométrie Micro-Raman montrent l'amorphisation du silicium après un premier balayage [4]. De plus, les investigations en Peak Force Tapping Quantitative Nano-Mechanical (PFT-QNM) révèlent une diminution de l'adhésion et une faible augmentation de la déformation [4]. Ainsi nous avons mis en lumière, une transformation structurale du nano-contact 3D pointe-échantillon et donc une modification éventuelle du mécanisme de conduction autour de la pointe. En tenant compte des états de surface (SS) présents à l'interface SiO_2/Si, les simulations par Sentaurus Device montrent l'apparition d'un courant d'électrons (Figure1.c) (supérieur au courant des trous) dû à la présence de la couche d'inversion lorsque le dopage de type p est faible et que le niveau des SS est élevé (10^{13} charges/cm²). Cette simulation décrit ainsi la conduction autour de la pointe lorsqu'elle indente le silicium pour la première fois, lors des passages suivants, la couche est détruite et le silicium amorphe limite ce mécanisme. Ainsi en différenciant deux signaux SSRM de balayages successifs, nous pouvons caractériser la conduction surfacique.

Références

[1] P. Eyben, W. Vandervorst, D. Alvarez, M. Xu, and M. Fouchier, *Scanning Probe Microscopy,* **2007** Springer, 31.
[2] K. Mylvaganam, L.C. Zhang, P. Eyben, J. Mody and W. Vandervorst, *Nanotechnology,* **2009**, 20, 305705.
[3] V. Domnich and Y. Gogotsi, *Reviews on Advanced Materials Science*, **2002**, 3, 1.
[4] R. Coq Germanicus, P. Leclère, Y. Guhel, B.Boudart, A.D. Touboul, P. Descamps, E. Hug and P. Eyben, *Journal of Applied Physics* **2015**, *117*, 244306.

Characterization of hybrid nanostructures for energy conversion and storage devices by advanced atomic force microscopy techniques

Hailu G. Kassa[1], Laurie Letertre[1], Georgiana Sandu[2], Sorin Melinte[2] and Philippe Leclère[1]

[1]*Laboratory for Chemistry of Novel Materials, Center for Innovation and Research in Materials and Polymers - CIRMAP, University of Mons - UMONS, Place du Parc 20, B-7000 Mons, Belgium.*

[2]*ICTEAM, Université catholique de Louvain, Place du Levant 3, B-1348 Louvain-la-Neuve, Belgium.*

Research on existing and emerging energy conversion and storage technologies is pivotal to solve the economic and environmental challenges facing the energy sector. The general approach to meet both of these challenges is by exploring novel materials and device designs, such as those recently developed in organic and hybrid photovoltaic solar cells. In addition, progress in storing the produced energy is equally important. Interestingly, the co-integration of photovoltaic technologies and Li-ion batteries is expected to mark a turning point for nomad devices.

However, to further improve the efficiency and stability of these devices, a better understanding of the device physics and how structural changes affect charge generation and transport at the nanometer scale is mandatory. In this context, we use a range of state-of-the-art scanning probe microscopy techniques to characterize the morphological, electrical and mechanical properties of solid hybrid systems which could be used for the realization of transparent and flexible photovoltaic cells and lithium ion batteries.

Here we combine the relatively new mechanical characterization tool, called Intermodulation Atomic Force Microscopy (Im-AFM), with other existing state-of-the-art scanning probe microscopy techniques such as Conducting AFM, Photoconducting AFM and Kelvin Probe Force Microscopy. As an example, we will demonstrate the use of AFM to study the local electrical properties of prototype hybrid solar cells, such as those made from P3HT:TiO_2 blends (Figure 1). We will also present our initial results on nanostructured composite anode electrodes made of multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) and silicon nanowires (SiNWs) (Figure 2). The composite anode architectures presented in this communication display enhanced capacity retention at the macroscopic scale compared to classical graphite electrodes.

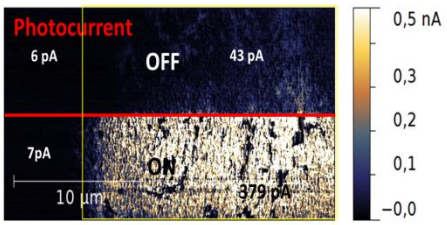


Figure 1 : Photocurrent image of hybrid solar cells made from P3HT:TiO_2 blends obtained by photoconducting AFM.

P3HT is located only on the right part of the sample (indicated by the yellow rectangle).

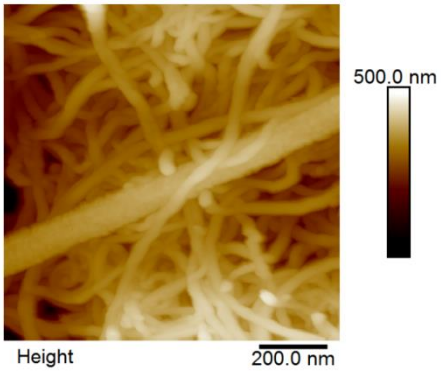


Figure 2 : AFM topography image of nano-composite anode electrodes made of MWCNT mixed with SiNWs showing the Si nanowire penetrating through the MWCNT network.

Caractérisation électrique de couches minces ferroélectriques à l'échelle nanométrique par PFM

Simon MARTIN[1], Rahma MOALLA[2], Baba WAGUE[2], David ALBERTINI[1], Nicolas BABOUX[1], Brice GAUTIER[1]

[1]INL (Institut des Nanotechnologies de Lyon), Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (CNRS, UMR-5270). 7, avenue Capelle, 69621 VILLEURBANNE Cedex, FRANCE

[2]INL (Institut des Nanotechnologies de Lyon), École Centrale de Lyon (CNRS, UMR-5270). 36, avenue Guy de Collongue, 69134 ECULLY Cedex, FRANCE

Ces dernières années, les oxydes fonctionnels ont attiré un intérêt croissant, notamment les oxydes ferroélectriques. Ces matériaux sont de sérieux candidats pour augmenter la capacité de stockage des mémoires non-volatiles et pour réduire la consommation énergétique des composants électroniques. La polarisation diélectrique permanente (charge surfacique) que possèdent ces matériaux peut être renversée par la seule application d'un champ électrique.

Les frontières de domaines ferroélectriques étant abrupts à l'échelle atomique, l'étude de ces matériaux à l'échelle nanométrique s'impose afin d'améliorer la compréhension des mécanismes de conduction, de renversement de la polarisation, de croissance et de stabilité des domaines, etc. Le tout dans le but d'intégrer ces matériaux dans des composants fonctionnels.

Une des techniques les plus utilisées pour caractériser de tels matériaux est la Piezoresponse Force Microscopy (PFM). Cette technique consiste à détecter les très faibles vibrations de la surface du matériau dues à l'effet piézoélectrique inverse par application d'un champ électrique sinusoïdal. La diminution d'épaisseur des couches minces a engendré des artefacts qui affectent le signal PFM et peuvent prédominer sur l'effet piézoélectrique, voire générer un signal PFM dans les couches minces non-ferroélectriques [1,2]. Ces interactions indésirables sont d'origine électrostatique (interaction coulombienne, injection et capture de charges) et électrochimique [3] (couche d'eau surfacique, mouvements des lacunes d'oxygène sous champ électrique). Ces contributions parasites peuvent être contrôlées et réduites [4].

Nous nous arrêterons sur deux matériaux ferroélectriques de structures pérovskites (ABO_3) : $Pb(Zr,Ti)O_3$ (PZT) et $BaTiO_3$ (BTO). Le premier est un ferroélectrique standard bien connu, à fort coefficient piézoélectrique et constante diélectrique. Le second, épitaxié par MBE (Molecular Beam Epitaxy) possède des coefficients piézoélectriques plus faibles et des courants d'injection de charge importants. De plus, BTO est non toxique (sans plomb) et utile dans le domaine de l'électro-optique (fabrication de guide d'ondes). L'étude comparative de ces deux matériaux nous permettra de comparer les propriétés électromécaniques à l'échelle nanométrique et de déduire l'influence de certaines contributions indésirables.

Références

[1] Borowiak, A. S., Baboux, N., Albertini, D., Vilquin, B., Saint Girons, G., Pelloquin, S., & Gautier, B. (2014). Electromechanical response of amorphous LaAlO3 thin film probed by scanning probe microscopies. *Applied Physics Letters*, *105*(1), 012906. doi:10.1063/1.4889853

[2] Miao, H., Tan, C., Zhou, X., Wei, X., & Li, F. (2014). More ferroelectrics discovered by switching spectroscopy piezoresponse force microscopy? *EPL (Europhysics Letters)*, *108*(2), 27010. doi:10.1209/0295-5075/108/27010

[3] Kalinin, S. V., Jesse, S., Tselev, A., Baddorf, A. P., & Balke, N. (2011). The role of electrochemical phenomena in scanning probe microscopy of ferroelectric thin films. *ACS Nano*, *5*(7), 5683–5691. doi:10.1021/nn2013518

[4] Jesse, S., Baddorf, A. P., & Kalinin, S. V. (2006). Dynamic behaviour in piezoresponse force microscopy. *Nanotechnology*, *17*(6), 1615–1628. doi:10.1088/0957-4484/17/6/014

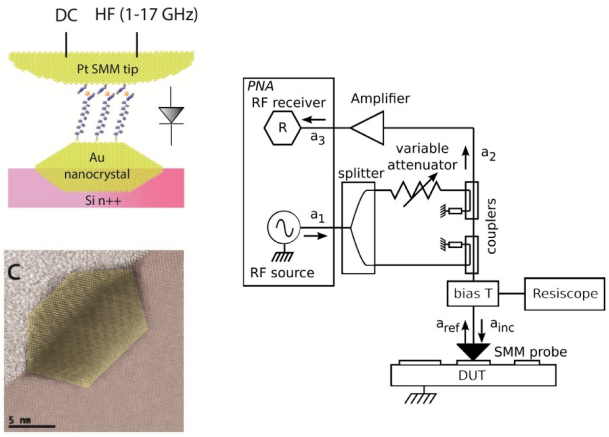
Molecular diode at 17 GHz studied by iSMM (interferometric scanning microwave microscope)

Jorge TRASOBARES,[1] Didier Théron,[1] Dominique Vuillaume[1] et Nicolas Clément.[1,2]

1) IEMN,CNRS & Univ. Lille, Villeneuve d'Ascq.

2) NTT-BRL, Kanagawa, Japan.

Molecular electronics originally promised that molecule(s) bridging two or more electrodes would generate electronic functions and overcome scaling limits of conventional technology. However, so far, these molecular devices have been only demonstrated at low frequency. Here, we demonstrate molecular diodes operating up to 17 GHz with an estimated cut-off frequency of 290 GHz. DC and RF properties were simultaneously measured on a large array of molecular junctions composed of gold nanocrystal electrodes [1-3], ferrocenyl undecanethiol molecules, and the tip of an interferometric scanning microwave microscope [4]. The measured S_{11} parameters, that show a diode rectification ratio up to 12 dB, seem to be directly related to the DC conductance and aF range fringing capacitance of the molecular junctions. The combination of a large array of single-crystal gold nanoelectrodes and an interferometric scanning microwave microscope (iSMM) is the key feature to perform a statistical study on hundreds of diodes, and show. The RF and DC data are combined using simple model from which we extract a high conductances up to 0.2 mS and a low 5-10 aF and 100 aF range for the molecular and fringing capacitances, respectively. From these results, we extrapolate a cutt-off frequency of 290 GHz for the molecular diode.



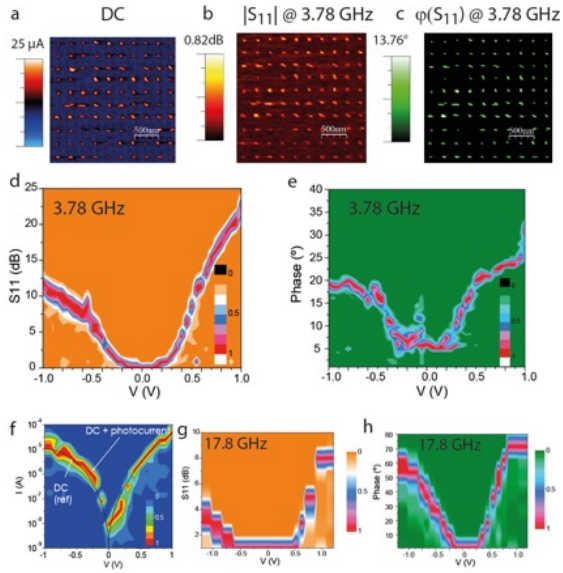


Figure 1 (left) : Scheme of the nanodot/molecule/SMM tip junctions, colored TEM image of the Au nanodot on silicon (scale bar is 5 nm) and scheme of the iSMM set up.

Figure 2 (right) : iSMM images of the nanodot molecular junctions at 0.8 V measured simultaneously by the amperometer (Resiscope) for the DC current **(a)** and VNA for amplitude **(b)** and phase **(c)** of the S_{11} parameters. **(d)** and **(e)** : 2D $|S_{11}|$ histogram (normalized to 1) vs. tip bias (V) and $\varphi(S_{11})$-V 2D histograms (normalized to 1) generated from one hundred measured molecular rectifier junctions. The applied load was 18 nN. **(f)** 2D DC I-V histogram from one hundred of ferrocenyl undecanethiol gold nanojunctions measured at 17.8 GHz RF input signal. The DC reference current (solid line) when no RF input signal was added is shown for comparison. **(g)** 2D $|S_{11}|$ vs. voltage curve from one hundred of ferrocenyl undecanethiol gold nanojunctions at 17.8 GHz. **(h)** Related $\varphi(S_{11})$ vs. V curve.

Références

[1] Smaali, K.; Clément, N.; Patriarche, G.; Vuillaume, D. Conductance Statistics From a Large Array of Sub-10 Nm Molecular Junctions. *ACS Nano* **2012**, 6, 4639–4647.

[2] Smaali, K.; Desbief, S.; Foti, G.; Frederiksen, T.; Sanchez-Portal, D.; Arnau, A.; Nys, J. P.; Leclère, P.; Vuillaume, D.; Clément, N. On the Mechanical and Electronic Properties of Thiolated Gold Nanocrystals. *Nanoscale* **2015**, 7, 1809–1819.

[3] Clément, N.; Patriarche, G.; Smaali, K.; Vaurette, F.; Nishiguchi, K.; Troadec, D.; Fujiwara, A.; Vuillaume, D. Large Array of Sub-10-Nm Single-Grain Au Nanodots for Use in Nanotechnology. *Small* **2011**, 7, 2607–2613.

[4] Wang, F.; Clément, N.; Ducatteau, D.; Troadec, D.; Tanbakuchi, H.; Legrand, B.; Dambrine, G.; Theron, D. Quantitative Impedance Characterization of Sub-10 Nm Scale Capacitors and Tunnel Junctions with an Interferometric Scanning Microwave Microscope. *Nanotechnology* **2014**, 25, 405703.

Session 11 « Vouivre » Mercredi 23 Mars, 16h05 - 17h20

La vouivre est tirée d'une célèbre légende de Franche-Comté. De toutes les créatures qui hantent le Jura, la Vouivre, dont le nom dériverait du latin vipera, en est sans conteste la reine. Marcel Aymé la dépeint sous les traits d'une jeune fille sensuelle et farouche, beaucoup la décrivent comme un serpent ailé qui apparaît la nuit, se déplaçant vite et surtout, portant à son front, une énorme pierre précieuse qui donnerait à celui qui s'en emparerait, un pouvoir extraordinaire.

16h05 : **Rémy Pawlak**, Département de Physique, Université de Bâle.
Etude des propriétés tribologiques de molécules uniques

16h30 : **Delphine Sordes**, GNS & MANA Satellite CEMES Université de Toulouse, CEA Tech Midi-Pyrénées Campus INSA.
Etude par un LT-UHV-4 STM d'une surface Si(100):H produite à partir d'un wafer 200 mm encapsulé par wafer bonding

16h55 : **Benjamain Verlhac**, IPCMS UMR CNRS 7504 Université de Strasbourg.
Manipulation de spin d'une molécule par courant tunnel

Etude des propriétés tribologiques de molécules uniques

Rémy Pawlak[1], Shigeki Kawai[1],Wengen Ouyang[2], Alexander E. Filippov[4], Lena Kalikhman-Razvozov[4], Thilo Glatzel[1], Enrico Gnecco[3], Alexis Baratoff[1], Quanshui Zheng[2], Oded Hod[4], Michael Urbakh[4], Ernst Meyer[1]

[1]*Department of Physics, University of Basel, Klingelbergstrasse 82, Basel 4056, Switzerland,*

[2]*Center for Nano and Micro Mechanics, Tsinghua University, Beijing 100084, China,*

[3]*Otto Schott Institute of Materials Research (OSIM), Friedrich Schiller University Jena, Jena 07743, Germany*

[4]*Department of Physical Chemistry, School of Chemistry, Tel Aviv University, Tel Aviv 6997801, Israel*

La réponse mécanique de molécules uniques adsorbées sur des surfaces cristallines peut être étudiée à l'échelle intramoléculaire par microscopie à force atomique (AFM) à très basse température (5K) **[1-3]**. Dans des travaux récents, nous avons également montré que les propriétés tribologiques de ces mêmes molécules peuvent être obtenues par leurs manipulations contrôlées sur ces surfaces [4-6]. Pour cela, la molécule de choix est attachée à la pointe AFM puis déplacée verticalement ou latéralement en contact avec la surface (Figure 1). Ces expériences révèlent de manière reproductible des motifs périodiques par imagerie et/ou spectroscopie qui sont intrinsèquement reliées à la réorganisation conformationnel des structures moléculaires ainsi que des effets de friction moléculaire pendant leurs manipulations. Dans cette présentation, les études des propriétés tribologiques de chaînes polymériques, de molécules de porphyrine et de nano-rubans de graphène seront brièvement présentées.

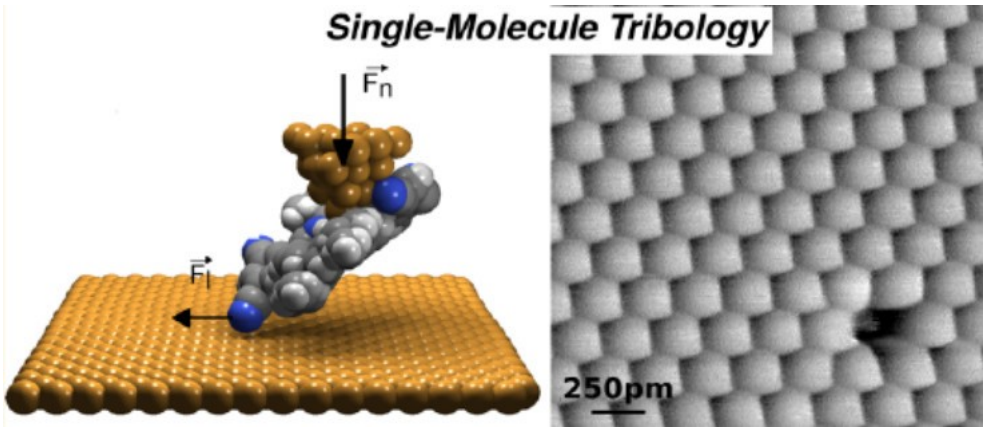


Figure 1 : (Gauche) Concept expérimental de l'étude des propriétés tribologiques de molécules uniques. (Droite) Image de friction obtenue avec une molécule de porphyrine manipulées latéralement sur une surface de Cu(111)..

Références

[1] Pawlak R, Kawai S, Fremy S, Glatzel T and Meyer E. *ACS Nano* **2011,** 5 6349

[2] Pawlak, R., Fremy, S., Kawai, S., Glatzel, T., Fang, H., Fendt, L.-A., Diederich, F., Meyer, E. *ACS Nano* **2012**, 6, 6318−6324

[3] Pawlak, R., Kawai, S., Glatzel, T., Meyer, E. Chapitre dans «Non-Contact atomic Force Microscopy», Springer Japan, **2015**

[4] Kawai, Koch, M. Gnecco, E., Sadegui, A., Pawlak, R., Glatzel, T., Scwarz, J., Goedecker, S., Hecht, S., Baratoff, A. Grill, L., Meyer, E. *PNAS* **2014**, 111, 3968-3972

[5] Pawlak, R., Ouyang, W., Filippov, A.E., Kalikhman-Razvozov, L., Kawai, S., Glatzel, T., Gnecco, E., Baratoff, A., Zheng, Q., Hod, O., Urbakh, M., Meyer. E. *ACS Nano* **2015**, Just accepted.

[6] Kawai, S., Benassi, A., Gnecco, E., Feng, X., Pawlak, R., Passerone, D., Müllen, K., Fasel, R., Meyer, E. *Science* **2016**, Just accepted.

Etude par un LT-UHV-4 STM d'une surface Si(100):H produite à partir d'une plaque 200 mm encapsulée par collage direct

D. Sordes[1, 2], C. Durand[1], P. Reynaud[4], A. Thuaire[4], S. Cheramy[4], N. Sillon[4] and C. Joachim[1,3]

[1] GNS & MANA Satellite
Centre d'Elaboration des Matériaux et d'Etudes Structurales (CEMES), CNRS, 29 rue J. Marvig, F-31055 Toulouse Cedex, France
[2] CEATech Midi-Pyrénées, Campus INSA, bât.GM 135 avenue de Rangueil, 31400 Toulouse, France
[3]International Centre for Materials Nanoarchitectonics (MANA), National Institute for Materials Science, 1-1, Namiki, Tsukuba, Ibaraki 305-0044, Japan
[4]CEA Grenoble, Minatec Campus, 17rue des Martyrs, 38054 Grenoble, France

En suivant l'approche « top-down » de la nanoélectronique, on sait fabriquer à la surface d'un semi-conducteur des dispositifs électroniques dont la précision de fabrication est de l'ordre du nanomètre [1]. En manipulant un par un les atomes à la surface d'un semi-conducteur, il devient maintenant possible de débuter une réelle inversion technologique : construire dans une approche « bottom-up » un circuit électronique atome par atome [2]. Pour ce faire, des molécules-portes-logiques ont été étudiées [3] avec une architecture semi-classique ou quantique [4]. Mais pour construire, interconnecter et tester ce type de circuit, de nouveaux outils expérimentaux [5], procédés de nano-fabrication et -caractérisation [6,7] sont indispensables. En laboratoire, il est à présent possible de réaliser l'ensemble du processus technologique de la construction à la caractérisation électronique de circuits à l'échelle atomique [7]. À cet effet, un nouvel équipement a été construit: le LT-UHV-4-STM [8]. Il s'agit d'un microscope à effet tunnel basse température, comportant quatre piézo-scanners dont chaque pointe STM peut balayer la surface indépendamment des autres. Positionné au-dessus des quatre têtes, un microscope électronique à balayage, d'une résolution de 15 nm utilisant une faible dose électronique, assure la navigation des pointes STM. Cette machine a été construite par ScientaOmicron GmbH pour le laboratoire du CEMES.

Avec cet instrument, nous avons étudié la surface Si(100) :H d'une puce en silicium intrinsèque de 1cm². Cette puce a été découpée dans une plaque de 200 mm de diamètre, produite puis encapsulée par la technique du collage direct par adhésion moléculaire [7]. Les mesures ont été réalisées à une température de 4.2 K sur notre LT-UHV-4-STM en utilisant nos propres pointes en tungstène usinées par attaque électrochimique. Nous présenterons tout d'abord, les caractéristiques topographiques surfaciques à l'échelle de la centaine de nanomètres d'une de ces puces puis les images de sa surface à l'échelle atomique pour des tensions de polarisation négatives et positives (Figure 1). Nous avons par exemple confirmé le phénomène de décalage apparent d'une demi-maille déjà observé sur les images LT-UHV-STM d'une surface Si(100) :H en tension positive [9]. Nous terminerons en présentant les caractéristiques courant-tension enregistrées sur un seul dimère Si-H, notre LT-UHV-4-STM étant suffisamment stable pour maintenir un scanner en boucle ouverte pendant plusieurs dizaines de secondes. Nous avons ainsi démontré en laboratoire, la première étape du processus de fabrication « atome-technologie » qui devrait nous conduire de la puce vierge produite en salle blanche avec une surface maitrisée à l'échelle atomique [7] jusqu'à la construction atome par atome du circuit à la surface de cette puce [10] et à son encapsulation finale [6].

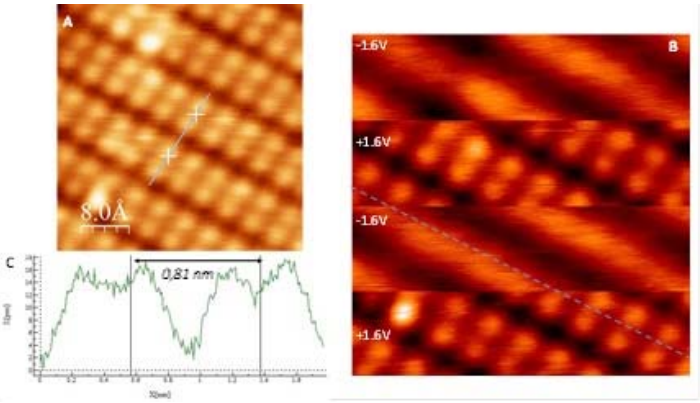


Figure 1 : Images LT-UHV-STM à courant constant, à 4.2 K et sous un vide de base autour de 10^{-11} mBar d'une surface de Si(100) :H sous UHV obtenues avec l'une des têtes (PS4) du LT-UHV-4-STM (taille de l'image 4 nm x 4 nm). Courant de consigne : 35 pA. (A) : tension de polarisation : + 1.6V. L'image (B) a été obtenue en changeant alternativement la polarité de la tension de polarisation de ± 1.6 V, alors que la pointe était en cours de balayage. La corrugation sur l'image (A) est Δz = 18 pm (du noir au jaune clair) comme présentée en (C). Mise en évidence ici par une ligne bleue pointillés en (B), du décalage apparent d'une demi-maille en fonction de la tension de polarisation déjà observé avec un LT-UHV-STM à une seule tête [8]. La position des dimères de SiH est donnée sur la partie de l'image enregistrée à -1.6V et non à +1.6V.

Références

[1]« IRTS Web-Site », *http://public.itrs.net/*, 2013. .
[2]C. Joachim, « Bonding more atoms together for a single molecule computer », *Nanotechnology*, vol. 13, nº 2, p. R1, 2002.
[3]W.-H. Soe, C. Manzano, N. Renaud, P. de Mendoza, A. De Sarkar, F. Ample, M. Hliwa, A. M. Echavarren, N. Chandrasekhar, et C. Joachim, « Manipulating Molecular Quantum States with Classical Metal Atom Inputs: Demonstration of a Single Molecule NOR Logic Gate », *ACS Nano*, vol. 5, nº 2, p. 1436‑1440, févr. 2011.
[4]H. Kawai, F. Ample, Q. Wang, Y. K. Yeo, M. Saeys, et C. Joachim, « Dangling-bond logic gates on a Si(100)-(2 × 1)–H surface », *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 24, nº 9, p. 095011, mars 2012.
[5]C. Joachim, D. Martrou, M. Rezeq, C. Troadec, D. Jie, N. Chandrasekhar, et S. Gauthier, « Multiple atomic scale solid surface interconnects for atom circuits and molecule logic gates », *J. Phys. Condens. Matter*, vol. 22, nº 8, p. 084025, mars 2010.
[6]M. H. T. Lwin, T. N. Tun, H. H. Kim, R. S. Kajen, N. Chandrasekhar, et C. Joachim, « Silicon on insulator nanoscale backside interconnects for atomic and molecular scale circuits », *J. Vac. Sci. Technol. B*, vol. 28, nº 5, p. 978‑984, sept. 2010.
[7]M. Kolmer, S. Godlewski, R. Zuzak, M. Wojtaszek, C. Rauer, A. Thuaire, J.-M. Hartmann, H. Moriceau, C. Joachim, et M. Szymonski, « Atomic scale fabrication of dangling bond structures on hydrogen passivated Si(0 0 1) wafers processed and nanopackaged in a clean room environment », *Appl. Surf. Sci.*, vol. 288, p. 83‑89, janv. 2014.
[8]J. Yang, D. Sordes, M. Kolmer, D. Martrou, et C. Joachim, « Imaging, single atom contact and single atom manipulations at low temperature using the new ScientaOmicron LT-UHV-4 STM », *Eur. Phys. J. Appl. Phys.*, vol. 73, nº 1, p. 10702, janv. 2016.
[9]T. L. Yap, H. Kawai, O. A. Neucheva, A. T. S. Wee, C. Troadec, M. Saeys, et C. Joachim, « Si(100)-2 × 1-H dimer rows contrast inversion in low-temperature scanning tunneling microscope images », *Surf. Sci.*, vol. 632, p. L13‑L17, févr. 2015.
[10]M. Kolmer, R. Zuzak, G. Dridi, S. Godlewski, C. Joachim, et M. Szymonski, « Realization of a quantum Hamiltonian Boolean logic gate on the Si(001):H surface », *Nanoscale*, 2015.

Manipulation du spin d'une molécule par courant tunnel

Benjamin Verlhac[1], Nicolas Bachellier[1], Maider Ormaza[1], Marisa Farragi[2], Martin Verot[3], Marie-Laure Bocquet[2], Fabrice Scheurer[1], Laurent Limot[1]

[1] IPCMS, Université de Strasbourg, UMR CNRS 7504, 67034 Strasbourg, France,

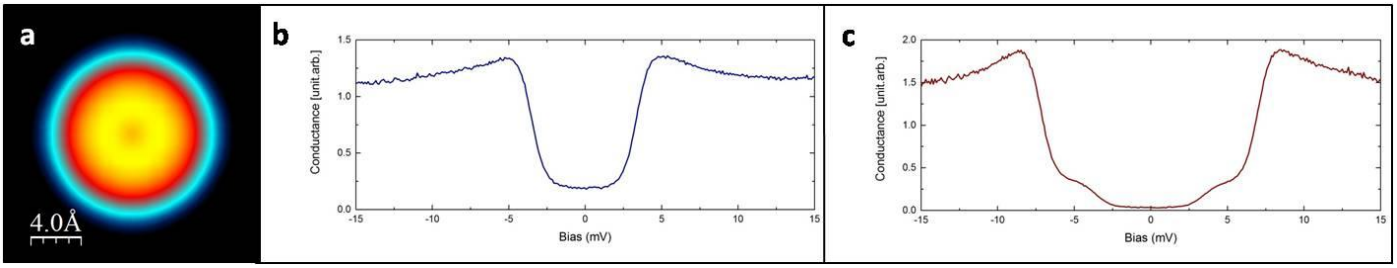
[2] Ecole Normale Supérieure, Département de Chimie, ENS-CNRS-UPMC UMR 8640, 75005 Paris, France

[3] Université de Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1 , CNRS, ENS Lyon, 69007 Lyon, France

La spintronique moléculaire est un domaine de la physique qui vise à étudier le transport de spin dans des systèmes de basse dimensionnalité voire élémentaires (atomes et molécules). Ce travail vise à étudier au sein d'un microscope à effet tunnel (STM) le changement d'état de spin, c'est à dire l'orientation de son aimantation, d'une molécule unique. Nous montrons que ce changement peut être induit par le courant tunnel inélastique [1, 2].

Nous nous intéressons en particulier à la molécule de nickelocène, qui est constituée d'un atome de nickel (Ni^{2+}) flanqué par deux ligands de cyclopentadiényle (C_5H_5). Comparé à d'autres molécules couramment étudiées avec le STM, la structure du nickelocène ne comporte qu'un faible nombre d'atomes, ce qui la rend très accessible à des modélisations théoriques. Ces dernières prédisent des propriétés spintroniques remarquables pour les métallocènes, en particulier le nickelocène [3, 4]. Cependant, à l'heure actuelle, ces molécules restent difficiles à utiliser expérimentalement, notamment à cause de conditions de dépôt et de croissances particulières sur des surfaces métalliques.

Nous présentons ici la première étude STM de l'adsorption de nickelocène sur une surface de cuivre (Fig. 1a), puis sa caractérisation par spectroscopie tunnel inélastique (IETS) (Fig. 1b). En nous appuyant sur l'IETS, des mesures complémentaires de dichroïsme circulaire magnétique de rayons X, ainsi que des calculs reposants sur la théorie de la fonctionnelle densité, nous caractérisons l'état magnétique fondamental et le premier état excité du nickelocène déposé sur une surface. L'état fondamental de spin est m=0, ce qui correspond à une direction d'aimantation perpendiculaire à l'axe C5 de la molécule. Nous montrons qu'au-dessus d'une tension seuil de 3.5 meV, la molécule bascule vers un état excité de spin m=±1, pour lequel le moment magnétique est parallèle à l'axe de la molécule. Nous montrons également la manipulation conjointe des moments magnétiques de deux molécules de nickelocène (Fig. 1c).



a. Image STM d'une molécule de nickelocène. **b**. Spectroscopie tunnel d'une molécule de nickelocène. **c**. Spectroscopie tunnel d'un nickelocène avec une pointe fonctionnalisée avec un nickelocène.

Références

[1] Heinrich, A. J.; Cupta, J. A. *Science* **2004**, *306*, 466
[2] Loth, S.; Etzkorn, M. *Science* **2010**, *329*, 1628
[3] Prins, R.; Van Voorst, J.D.W. *Chem. Phys. Letters* **1967**, *1,* 54
[4] Yi, Z.; Shen, X; Sun, L. *ACS Nano* **2010**, *4*, 2274

Session 12 « Griottines » Jeudi 24 Mars, 8h30 - 10h20

Les **griottines** sont de petites cerises aigres, appelées griottes, macérées dans de l'eau-de-vie, produites à Fougerolles (Haute-Saône). Elles peuvent se déguster telles quelles, ou entrer dans la préparation de nombreux plats locaux, aussi bien salés que sucrés.

8h30 : **Brice Gautier**, Institut des Nanotechnologies de Lyon INSA Lyon CNRS UMR 5270.
Cours : Caractérisation électrique des couches ultra-minces ferroélectriques : performance et limites de la microscopie champ proche en mode PFM

9h30 : **Clemens Winkelmann**, Institut Néel CNRS Université Grenoble Alpes.
Charge puddles in graphene near the Dirac point

9h55 : **Gaolei Zhan**, Institut FEMTO-ST Département MN2S CNRS UMR 6174.
Rôle des surfaces de Cu(111) et de Si(111)-B dans la formation d'auto assemblages moléculaires par liaisons Hydrogène

Caractérisation électrique des couches ultra-minces ferroélectriques : performances et limites de la microscopie champ proche en mode PFM

Simon Martin, Alexis S. Borowiak, Nicolas Baboux, David Albertini, Brice Gautier

Insitut des Nanotechnologies de Lyon, UMR CNRS 5270, Université de Lyon, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 7 Avenue Capelle 69621 VILLEURBANNE

Les couches minces ferroélectriques sont à l'origine de recherches soutenues pour leur large palette de propriétés électriques combinant deux états de polarisation diélectrique stables à champ électrique nul avec des propriétés piézoélectriques et pyroélectriques. Cette large gamme les désigne comme des candidats très sérieux pour une intégration dans des dispositifs à mémoire non volatiles, pour des dispositifs de récupération d'énergie à partir des vibrations ou de la chaleur, ou pour des transistors à basse consommation. Dans ce dernier cas comme dans d'autres, le matériau ferroélectrique est intégré comme oxyde de grille d'une structure Métal-Oxyde-Siconducteur – MOS. Or, la mesure des propriétés électriques de ces couches en termes de claquage diélectrique mais aussi en termes de taille et de stabilité des domaines ferroélectriques nécessite une résolution spatiale nanométrique. La microscopie champ proche s'est donc imposée très rapidement comme la technique de choix pour obtenir des informations sur la répartition, la vitesse et le mode de croissance et la stabilité des domaines avec une résolution comparable à celle du mode contact, et notamment par le biais de la Piezoresponse Force Microscopy (PFM). Cette dernière s'est très largement banalisée et constitue une des principales sources d'information sur les couches ferroélectriques à l'échelle nanométrique.

Or, l'évolution de la microélectronique vers des dimensions largement nanométriques et l'intégration des ferroélectriques dans ce contexte a imposé le besoin de couches très minces, obtenues par des méthodes capables d'obtenir des dépôts homogènes sur de grandes surfaces. A ce titre, l'épitaxie par Jet Moléculaire (MBE) semble une des techniques les mieux placées pour atteindre les objectifs. Dans ce contexte malheureusement, la PFM est largement perturbée par de nombreux effets parasites, incluant les courants de fuite et surtout la capture de charges qui en résulte, la présence de lacunes d'oxygène en grand nombre ou la conduction ionique. Dès lors, l'obtention d'images PFM après une séquence de création des domaines ferroélectriques par la pointe AFM, ou la réalisation de cycles d’hystérésis quel que soit le mode choisi, ne constituent plus des preuves irréfutables du caractère ferroélectrique de ces couches.

Dans cette communication, après une revue des techniques disponibles pour le mode PFM, nous illustrerons les possibilités, mais aussi les limites de la mesure par PFM. Nous illustrerons ces limites par des exemples de difficulté croissante, jusqu'à un point où il devient difficile de confier à la seule PFM le soin de prouver qu'une couche donnée est ferroélectrique. Nous verrons que les couches obtenues par MBE, très fines et très déficitaires en oxygène, concentrent les difficultés et imposent une amélioration des pratiques courantes de la mesure PFM. Nous donnerons donc ensuite des pistes pour améliorer la technique et progresser vers une mesure réellement capable de fournir une réponse fiable à la question de la détection de la ferroélectricité.

Charge Puddles in Graphene Near the Dirac Point

S. Samaddar,[1,2,*] I. Yudhistira,[3,] S. Adam,[3,4,] H. Courtois,[1,2,] and C. B. Winkelmann[1,2]
[1]Université Grenoble Alpes, Institut NEEL, F-38042 Grenoble, France
[2]CNRS, Institut NEEL, F-38042 Grenoble, France
[3]Centre for Advanced 2D Materials and Department of Physics, National University of Singapore, 2 Science Drive 3, Singapore 117551
[4]Yale-NUS College, 16 College Avenue West, Singapore 138527

Abstract:
The charge carrier density in graphene on a dielectric substrate such as SiO_2 displays inhomogeneities, the so-called charge puddles [1]. Because of the linear dispersion relation in monolayer graphene, the puddles are predicted to grow near charge neutrality [2], a markedly distinct property from conventional two-dimensional electron gases. By performing scanning tunneling microscopy/spectroscopy on a mesoscopic graphene device, we directly observe the puddles' growth, both in spatial extent and in amplitude, as the Dirac point is approached [3]. Self-consistent screening theory [4] provides a unified description of both the macroscopic transport properties and the microscopically observed charge disorder.

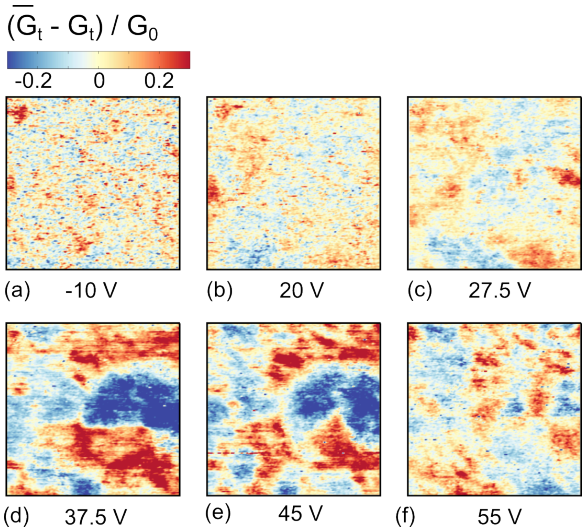


Figure 1: Spatial maps of the variations of the normalized differential tunneling conductance around its mean value, over an area of 100 x 100 nm^2 at different back-gate voltages (indicated below each figure). The maps illustrate the growth of the charge puddles, both in amplitude and spatial extent as the Dirac Point is approached.

References:

[1] Zhang, Y., Brar, V. W., Girit, C., Zettl, A., Crommie, M. F. (2009), *Origin of Spatial Charge Inhomogeneity in Graphene*, Nature Phys. **5**, 722.

[2] Das Sarma, S., Adam, S., Hwang, E. H., Rossi, E. (2011), Electronic transport in two-dimensional graphene, Rev. *Mod. Phys.* **83**, 407.

[3] Samaddar, S., Yudhistira, I., Adam, S., Courtois, H., Winkelmann C. B. (2015), *Charge Puddles in Graphene Near the Dirac Point*, arXiv: 1512.05304

[4] Adam, S., Hwang, E. H., Galitski, V. M., Das Sarma, S. (2007), *A self-consistent theory for graphene transport,* PNAS **104**, 18392.

Rôle des surfaces de Cu(111) et de Si(111)-B dans la formation d'auto-assemblages moléculaires par liaisons Halogène

Gaolei ZHAN[1], Younes MAKOUDI[1], Judicaël JEANNOUTOT[1], Simon LAMARE[1], Frank PALMINO[1], Frédéric CHERIOUX[1], Marc-André DUBOIS[2], Alain ROCHEFORT[2], Xavier BOUJU[3]

1 Institut FEMTO-ST, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, 15B Avenue des Montboucons, 25030 Besançon cedex.
2 Ecole Polytechnique de Montréal, C.P. 6079, Montréal (Québec) H3C 3A7
3 CEMES, CNRS 29 rue Jeanne Marvig, 31055 Toulouse cedex4

La formation de nano-objets constitués par des molécules aromatiques assemblées sur des surfaces est d'un intérêt primordial dans le but de former des composants actifs performants dans le domaine de l'opto-électronique, de l'électronique ou de l'énergie. Les interactions entre les molécules permettent d'imaginer de nombreuses architectures. La liaison Halogène, en raison de sa directionnalité, de sa force et de son caractère hydrophobe est l'une des interactions non-covalentes qui suscite un engouement très fort dans le domaine des auto-assemblages sur surfaces [1].

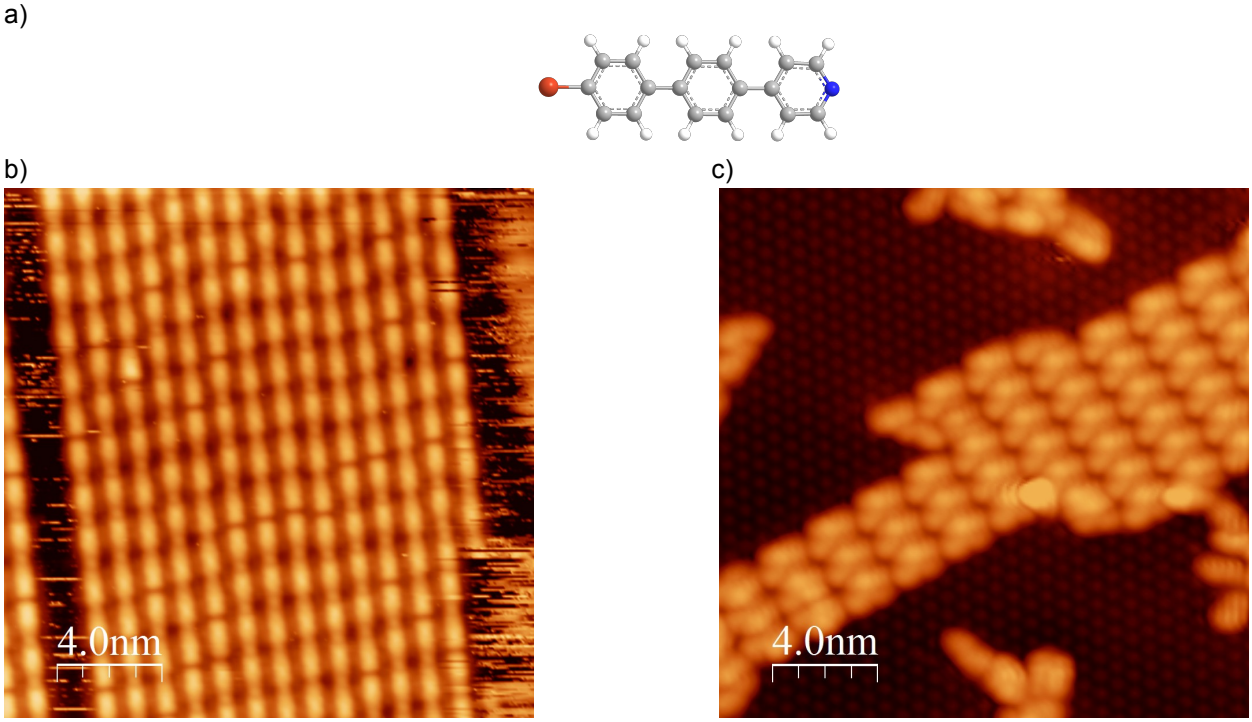


Figure : a) modèle CPK de la molécule de 4-bromobiphénylpyridine, b) dépôt sur Cu (20 x 20 nm^2, It= 1.01nA, Vt= -1.4V), et c) sur Si(111)-B (20 x 20 nm^2, It= 20pA, Vt= -2.0V)

Nous avons comparé par STM et par simulations numériques, le rôle de la surface sur la formation de réseaux supramoléculaires fondés sur des interactions Halogène de type acide-base de Lewis ou entre atomes d'halogènes. Sur Si(111)-B, nous avons montré que les liaisons Halogènes entre atomes d'halogènes ne sont pas affectées par ces surfaces [2] et que des réseaux supramoléculaires sont formés à grande échelle. En revanche, sur Cu(111), les interactions molécule-surface sont prédominantes et guident la formation des réseaux. Enfin, dans le cas d'un couple acide-base de Lewis, que ce soit sur Cu(111) ou sur Si(111)-B, les interactions molécules-surfaces guident la formation des assemblages (Figures b et c).

Références

[1] Silly, F. *J. Phys. Chem. C* **2013**, *117*, 20244
[2] Makoudi, Y.; Beyer, M.;, Jeannoutot, J.; Picaud, F.; Palmino, F.; Chérioux, F. *Chem. Commun.* **2014**, *50,* 5714

Session 13 « Soufflaculs » Jeudi 24 Mars, 10h45 – 12h00

Cette fête traditionnelle était autrefois célébrée par les moines le mercredi des Cendres. Les habitants de Saint-Claude revêtaient des chemises blanches et des masques noirs et, armés de soufflets, allaient déloger l'esprit malin sous les jupes des femmes. Le soufflet symbolisait aussi, plus généralement, le « souffle de vie » à la sortie de l'hiver.
Ce qui est ensuite devenu une sorte de carnaval avec chars et grosses têtes comprend toujours un défilé de chars, de fanfares et de majorettes, une bataille de confettis et de serpentins. Pour des raisons météorologiques, ce carnaval se tient désormais fin mars ou début avril.

10h45 : **Tran Phong Nguyen**, Institut FEMTO-ST CNRS UMR 6174.
Microscopie thermique par sonde locale thermoélectrique sur résonateur à quartz.

11h15 : **David Renahy**, INSA de Lyon CETHIL UMR CNRS 5008 Université de Lyon.
Un SThM dans un MEB en vue de l'investigation des paramètres d'influence des transferts thermiques à l'échelle nano.

11h35 : **Abdelhak Saci**, Laboratoire TREFLE UMR 8508 Université de Bordeaux.
Mesure de la conductivité thermique d'un nanofil de In3Sb3Te3 à changement de phases.

Microscopie thermique par sonde locale thermoélectrique sur résonateur à quartz

Tran Phong NGUYEN, Alexia BONTEMPI, Laurent THIERY, Damien TEYSSIEUX, Pascal VAIRAC.

FEMTO-ST (UMR 6174), Université de Franche-Comté, CNRS, ENSMM, UTBM, Besançon, France.

La microscopie thermique par sonde locale représente actuellement une des seules techniques dont le niveau de maturité nécessite encore de nombreux développements. L'amélioration des sondes et la compréhension des phénomènes de transferts thermiques à faible échelle sont les deux thèmes majeurs sur lesquels différentes équipes se concentrent, notamment au sein du projet européen « QuantiHeat » (FP7-NMP-2013-LARGE-7, GA N°604668). Sous la dénomination SThM ou « Scanning Thermal Microscopy », cette famille regroupe plusieurs systèmes utilisant des sondes permettant de déterminer localement les propriétés thermiques d'un échantillon (mode actif) ou mesurer sa température de surface (mode passif). Même si le principal avantage des sondes locales reste lié à leur résolution, certaines sondes fonctionnent préférentiellement en mode actif (par exemple les sondes résistives) ou en mode passif (par exemple les sondes à nanoparticule fluorescente) [1,2]. En revanche, un microthermocouple bifilaire est parfaitement adapté aux deux modes de fonctionnement [3,4].

Nous présentons un système d'imagerie thermique, dont la sonde associe un micro-thermocouple bifilaire et un résonateur à quartz (diapason) afin de contrôler la force de contact sonde-surface. Le thermocouple de type S est obtenu à partir de fils « Wollaston » en platine et platine rhodié. Fixés sur l'extrémité d'un bras du diapason (voir Fig.1) la jonction est obtenue par décharge capacitive. Pour améliorer sa résolution et assurer une forme reproductible, l'extrémité de la jonction thermoélectrique est taillée au moyen d'un faisceau d'ions (FIB). Le contact électrique des fils est obtenu par collage à l'argent sur deux électrodes spécifiques préalablement déconnectées des six électrodes restantes, permettant la détection du signal piézoélectrique du résonateur. Celui-ci est excité de façon photo-thermo-élastique à l'aide d'une source laser modulée à la fréquence de résonance [5].

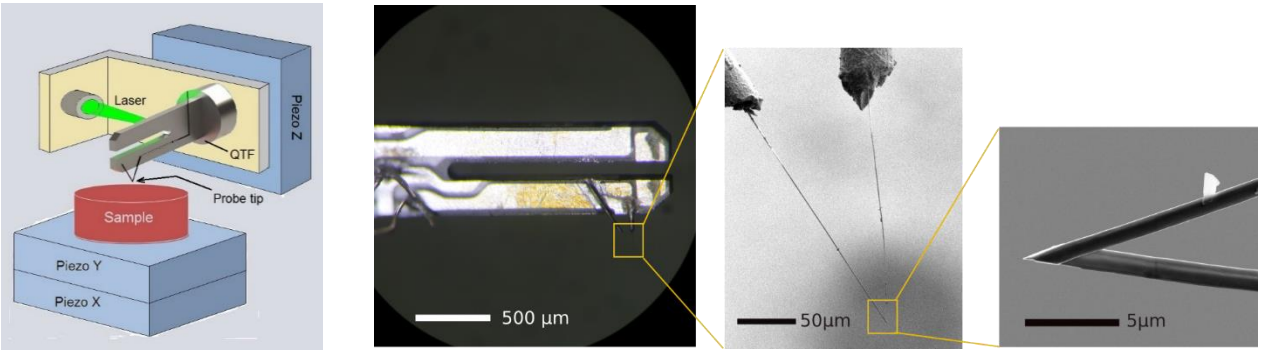


Figure 1. Principe du SThM à microthermocouple sur diapason à quartz.

La mesure du déphasage (open-loop) à la résonance ou du décalage de la fréquence de résonance (closed-loop) nous permet de détecter le contact entre la pointe et la surface, grandeur fondamentale permettant d'opérer en mode AFM-contact. Au cours d'une mesure, l'échantillon se déplace suivant les directions X et Y et pour chaque point, la sonde effectue une approche verticale jusqu'au contact avec la surface. A chaque point de contact, l'acquisition des différents signaux est effectuée.

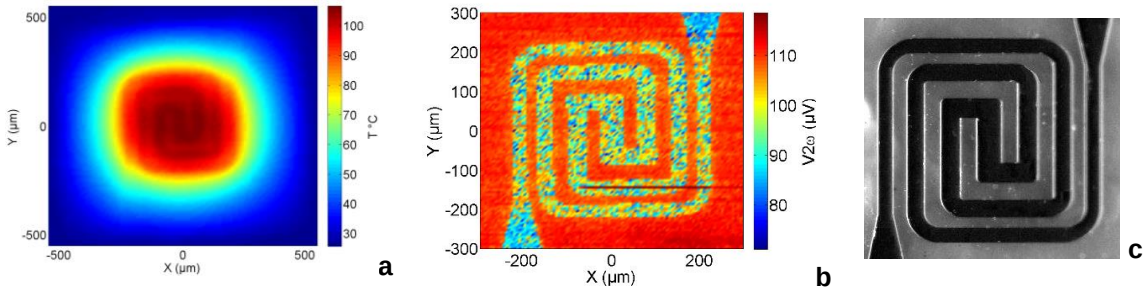


Figure 2. Mesure de la température de surface en mode passif d'une micro-plaque chauffante platine chauffée par effet Joule (a) ; image thermique à froid de la zone centrale en mode actif 2ω (b) ; image optique du dépôt de platine (c).

Un exemple de résultat est présenté en Fig.2 sur une micro-plaque chauffante. Celle-ci est composée d'un dépôt de platine (épaisseur 200 nm) en serpentin sur une membrane en nitrure de silicium (épaisseur 500 nm). Les résultats obtenus en mode passif ont montré que la sonde possède une stabilité élevée offrant une résolution thermique inférieure à 0,5K sur une gamme de température allant de l'ambiance jusqu'à 800°C. En mode actif, nous montrons que le contraste de conductivité thermique obtenu est trois fois supérieur à celui des mesures obtenues par sondes résistives à 3ω.

Références :

1. S. Gomès and S. Lefèvre, in *Advanced Techniques and Applications on Scanning Probe Microscopy*, F.H. Lei, Ed. Research Signpost, 2008, pp.157–195.

2. B. Cretin, S. Gomès, N. Trannoy, and P. Vairac, in *Microscale and Nanoscale Heat Transfer*, Springer 2007, pp.181–238.

3. L. Thiery, E. Gavignet and B. Cretin, “Two omega method for active thermocouple microscopy”, Rev. Sci. Instrum. 80, 034901 (2009).

4. A. Bontempi, L. Thiery, D. Teyssieux, D. Briand, and P. Vairac, “Quantitative thermal microscopy using thermoelectric probe in passive mode”, Rev. Sci. Instrum. **84**, 103703 (2013).

5. A. Bontempi, D. Teyssieux, J.-M. Friedt, L. Thiery, D. Hermelin, and P. Vairac, “Photo-thermal quartz tuning fork excitation for dynamic mode atomic force microscope,” Appl. Phys. Lett. **105**, 15, 154104 (2014).

Intégration d'un SThM dans un MEB en vue de l'investigation des paramètres d'influence des transferts thermiques au niveau du contact sonde-échantillon à l'échelle nano.

David RENAHY[1], Séverine GOMES[1], Pascal VINCENT[2]

[1]*Université de Lyon, Centre de Thermique de Lyon CETHIL-UMR5008, CNRS, INSA de Lyon, F-69621 Villeurbanne, France*
+33472436428, severine.gomes@insa-lyon.fr
[2]*Institut Lumière Matière (ILM), Université de Lyon, UMR5306 Université Lyon 1-CNRS, 69622 Villeurbanne, France*

Les mesures par microscopie thermique à sonde locale (SThM) sont principalement réalisées sous conditions ambiantes. Une interprétation correcte des résultats obtenus dans ces conditions nécessite une bonne connaissance et description des différents modes de transferts thermiques entre la sonde (micro-levier et pointe) et l'échantillon [1]. Ces modes incluent la conduction thermique via l'air ainsi que le ménisque d'eau lorsque sonde et échantillon sont en contact. Bien que ces mécanismes sont étudiés depuis maintenant plus de 15 ans, ils ne sont pas encore totalement compris [1-2].
Travailler sous vide présente l'avantage, en plus d'améliorer la résolution latérale de la technique, de limiter les modes de transferts thermiques impliqués et de localiser l'échange de chaleur pointe-échantillon. Dès lors, une modélisation simplifiée peut être utilisée pour l'interprétation des mesures.
Néanmoins, l'usure et la contamination de la pointe résultant du balayage répété de la sonde sur l'échantillon durant une acquisition d'image sont également des paramètres à considérer. Par conséquent, l'observation en temps réel de l'état de la pointe et de la surface de l'échantillon apporte un avantage considérable pour une caractérisation approfondie de la mesure par SThM.

C'est donc sur ces constatations que nous avons développé un SThM dédié à l'expérimentation sous microscopie électronique à balayage (MEB). Cet instrument sera utilisé pour caractériser les mesures avec divers types de micro-sondes résistives SThM dans le cadre du projet de recherche européen QUANTIHEAT.
Nous avons conçu ce SThM dans un souci d'encombrement réduit et d'architecture ouverte. Ce design nous permet de garder les possibilités de positionnement et d'orientation sous le faisceau d'électrons offertes par les platines du MEB (Instrument de la plateforme PNNL à Lyon) afin d'obtenir le meilleur angle de vue du système pointe-échantillon en fonction de la sonde utilisée. La sonde résistive est alimentée par un module dédié à la gestion de sa température et peut être utilisée en mode passif ou actif et en régime de courant continu ou modulé.

Une description détaillée de l'instrument ainsi que nos premiers résultats seront présentés lors du forum.

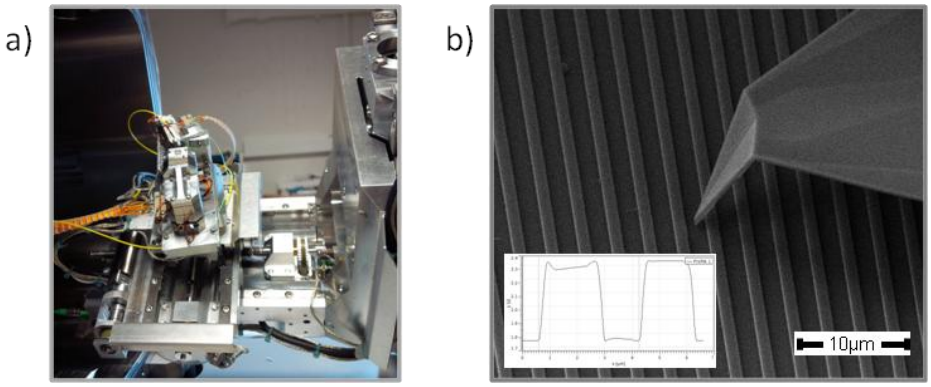


Figure 1 : a) SThM monté sur la platine à 5 degrés de liberté du MEB. b) Image MEB obtenue tandis que la sonde scanne un échantillon d'étalonnage (profil topographique).

Acknowledgements: The research leading to these results has received funding from the European Union Seventh Framework Programme FP7-NMP-2013-LARGE-7 under Grant Agreement n° 604668. Authors also thank the CLYM and PNNL platforms.

Références

[1] Gomes, S.; Assy, A.; Chapuis, P.O. *Physica Status Solidi* (a), **2015**, 212, (477)
[2] Assy, A. *PhD Thesis*, INSA de Lyon, **2015**.

Mesure de la conductivité thermique d'un nanofil de $In_3Sb_3Te_3$ à changement de phases

Abdelhak SACI[1*], Jean-Luc BATTAGLIA[1], Indrayush DE[1], Massimo LONGO[2]

[1]*Laboratoire TREFLE, UMR 8508, Université de Bordeaux 33405 Talence Cedex France*

[2]*Laboratoire MDM, IMM-CNR, Unita di Agrate Brianza, Via C. Olivetti 2, 20864 Agrate Brianza, (MB), Italy*

[*]*(auteur correspondant : saciabdelhak@yahoo,fr)*

Les matériaux à changement de phase (MCP) sont utilisés en microélectronique pour la réalisation de mémoire non volatil de nouvelle génération. Dans ce travaille nous allons présenter des mesures de conductivité thermique d'un nanofil de $In_3Sb_3Te_3$ à changement de phase. Ces mesures seront réalisées à l'aide d'un microscope thermique à sonde local (SThM) fonctionnant en régime modulé de type 3ω [1], avec une résolution spatiale de l'ordre de 25 nm [2]. Les mesures d'amplitude et de phase sont utilisées pour identifier certains paramètres inconnus, comme le rayon de contact entre la sonde et le nanofil, la résistance de contact à l'interface sonde-nanofil et la conductivité thermique du nanofil. Pour cela une méthode d'identification est utilisée qui minimise l'écart entre les grandeurs mesurées et celles simulées à partir d'un modèle du transfert de la chaleur dans le matériau et dans la sonde.

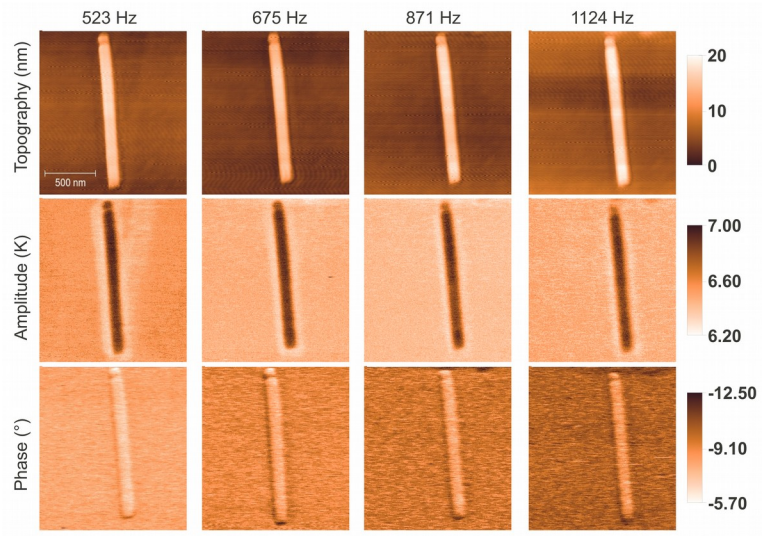


Figure 1 : Topographie, amplitude et phase de la température d'un nanofil de NW-IST-01 en fonction de la fréquence d'excitation. La taille de l'image est de 1.5x1.5 µm.

Références

[1] Abdelhak S. et al, (**2014**) Thermal conductivity measurement of a Sb2Te3 phase change nanowire, *Appl. Phys. Lett*. 104, 263103

[2] Abdelhak S. et al, (**2015**), Accurate new methodology in scanning thermal microscopy, *Nanotechnology, IEEE Transactions on*, Volume:14 , Issue:6.

Session 14 « Tuyé » Vendredi 25 Mars, 8h30 – 10h20

Le **tuyé**, écrit également **tuhé** ou **tué** et prononcé « tué » est une pièce centrale des fermes du Haut-Doubs en Franche-Comté, notamment la région de Morteau, où l'on fait fumer la viande. Elle recueille les tuyaux de tous les poêles de la maison, d'où peut-être son nom d'après certains historiens (d'autres avançant une racine celte signifiant « toit »).

9h00 : **Ludovic Bellon,** Laboratoire de Physique ENS de Lyon CNRS Université de Lyon.
Mesure sans bruit du bruit thermique : application à la calibration de leviers raides

9h25 : **Benjamin Besga**, Institut Néel UPR 2940 CNRS Université Grenoble Alpes.
Ultrasensitive and vectorial nanomechanical force field sensor

9h50 : **Michel Drouet,** Institut Pprime UPR 3346 CNRS ISAE-ENSMA SP2MI Université de Poitiers.
Déstabilisation de marches vicinales induite par déformation plastique

Mesure sans bruit du bruit thermique : application à la calibration de leviers raides

Basile Pottier, **Ludovic Bellon**

Laboratoire de Physique, Université de Lyon, ENS de Lyon, CNRS

Parmi les nombreuses méthodes proposées pour la mesure de la déflexion d'un micro-levier de microscopie à force atomique, les techniques optiques sont les plus connues: elles offrent une excellente résolution tant en continu qu'en dynamique. La technique la plus répandue est celle de mesure de la déflexion angulaire d'un faisceau laser focalisé sur l'extrémité du levier, elle est à la fois simple à mettre en œuvre et offre un excellent rapport signal sur bruit pour l'imagerie. Elle permet également la calibration de la raideur k des leviers par l'étude de leurs fluctuations thermiques : l'amplitude de ces fluctuations $\langle d^2 \rangle$ est régit par le théorème d'équipartition de l'énergie :

$$\frac{1}{2}k\langle d^2 \rangle = \frac{1}{2}k_B T$$

où la constante de Boltzmann k_B et la température T sont connues. Pour les leviers souples, la raideur est faible et donc les fluctuations suffisamment importantes pour être mesurées, permettant ainsi la calibration de k.

Toutefois, comme dans toutes les mesures basées sur la mesure d'un photo-courant, une limite fondamentale à la résolution est le bruit de grenaille (ou shot-noise) de la détection. Ce bruit d'origine quantique (caractère corpusculaire des photons) limite la précision de mesure, notamment pour la calibration des leviers les plus raides : l'amplitude des fluctuations $\langle d^2 \rangle$ est alors masquée par le bruit de mesure.

Dans cette présentation, nous montrerons que cette limite fondamentale peut être contournée par une technique de traitement du signal très simple : si l'on mesure à l'aide de deux capteurs la même déflexion, les bruits de mesure des deux détecteurs sont décorrélés, et leur spectre croisé moyenne à zéro le bruit de grenaille. Cette technique est de plus facile à mettre en œuvre sans modification du système de détection : la simple photodiode 4 quadrants des détecteurs classiques contient toute l'information redondante nécessaire [1,2]. Cette méthode permet la mesure de fluctuations thermiques inférieures de plusieurs ordres de grandeur au bruit de grenaille. Elle donne ainsi accès à la calibration précise de leviers raides. Nous montrerons également qu'au delà de cette application aux fluctuations de déflexion d'un micro-levier, la méthode permet d'étudier les fluctuations thermiques de surface libre de liquides ou matériaux mous, donnant alors accès aux propriétés rhéologiques du milieu.

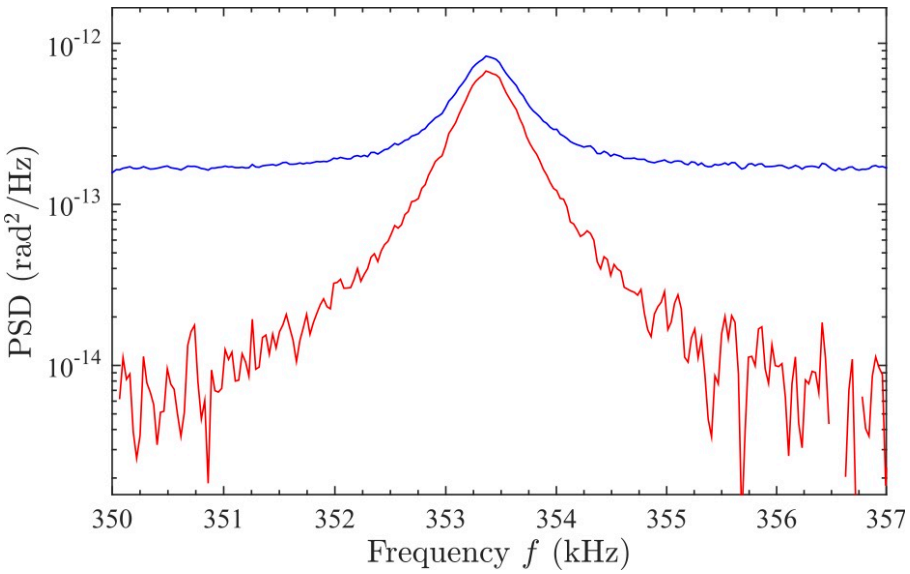


Figure 1 : Densité spectrale de puissance des fluctuations de déflexion induites par le bruit thermique pour un levier Bruker MPP avec (en rouge) et sans (en bleu) la méthode de réduction de bruit. La méthode proposée permet de mesurer les fluctuations thermiques en deçà de la limite du bruit de grenaille à $1{,}7.10^{-13}$ rad^2/Hz.

Ces recherches ont été financées dans le cadre du projet HiResAFM de l'ANR en France (ANR-11-JS04-012-01).

[1] L. Bellon, *Procédé d'estimation d'une raideur d'une partie déformable* (**2015**) Brevet FR15/63492
[2] B. Pottier et L. Bellon, *Procédé de caractérisation des propriétés rhéologiques d'un matériau* (**2015**) Brevet FR15/63493

Ultrasensitive and vectorial nanomechanical force field sensor

Benjamin BESGA, Laure MERCIER de LEPINAY, Benjamin PIGEAU, Arnaud GLOPPE

and Olivier ARCIZET

Institut Néel, Université Grenoble Alpes – CNRS: UPR2940, 38042 Grenoble

Miniaturization of force probes into nanomechanical oscillators enables ultrasensitive investigations of forces on dimensions always smaller. Meanwhile this reduction in size also reveals the vectorial character of the nanoresonator and how the full force field topology impacts the measurement.

Here we expose an ultrasensitive method to image 2D vectorial force fields by optically following the bidimentional Brownian motion of a singly clamped nanowire. A tightly focused beam of light allows to readout the position of the Silicon Carbide nano-resonator using the transmitted or reflected beams (see Fig. a) and already permitted to measure optical forces with a very high sensitivity [1]. A novel approach based on angular and spectral tomography of the two quasi frequency-degenerated transverse mechanical polarizations enable us to measure any type of forces in the two dimensions explored by the nanowire tip. Indeed immersing the nanoresonator in a vectorial force field can shift its eigenfrequencies but can also rotate its eigenmodes as a nano-compass (see Fig. b). The spatial force gradients can even take precedence over the intrinsic nanowire properties leading to dressed eigenmodes rotated up to 60 degrees compared to the bare modes. By carefully measuring the properties of both eigenmodes the external force field gradients can be subsequently deduced from a direct mathematical inversion.

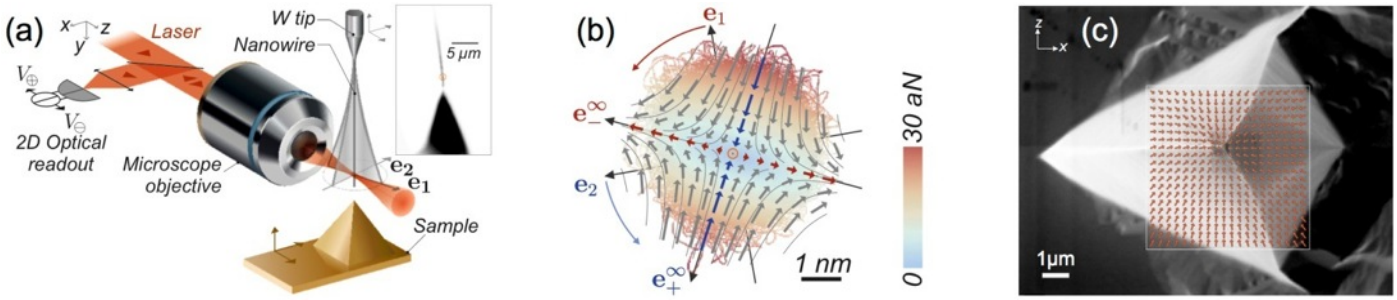


Figure 1 : (a) Schematics of the experiment where transverse vibration of a singly-clamped nanowire are optically readout. Inset : CCD image of the electrostatic tip positioned close to the nanowire. (b) Cartography of the local force field drawn over the spatial extension of the nanowire thermal noise. (c) Measured electrostatic force field superimposed on a MEB image of the EFM tip.

This universal method is employed to map a tunable electrostatic force field created by voltage-biased EFM tip approached in the vicinity of the nanowire extremity, and a cartography of the vectorial structure of the electrostatic force field is presented (see Fig. c). Enabling vectorial force field imaging with demonstrated sensitivities of attonewton variations over the Brownian trajectory, can have a large impact on scientific imaging at the nanoscale.

Références

[1] A. Gloppe, P. Verlot, E. Dupont-Ferrier, A. Siria, P. Poncharal, G. Bachelier, P. Vincent, and O. Arcizet, Bidimensional nano-optomechanics and topological backaction in a non- conservative radiation force field, *Nature Nano. 9, 920-926* (2014)

Déstabilisation de marches vicinales induite par déformation plastique

Michel DROUET, Osmane CAMARA, Christophe COUPEAU, Julien DURINCK, Joël BONNEVILLE, Jérôme COLIN et Jean GRILHE

Institut Pprime, UPR3346, CNRS, Université de Poitiers, ISAE-ENSMA, SP2MI - Téléport 2 - 11 Boulevard Marie et Pierre Curie, BP 30179 F86962 FUTUROSCOPE CHASSENEUIL Cedex

La déformation plastique des matériaux cristallins conduit à l'apparition en surface de marches atomiques liées au mouvement de dislocations émergentes. La hauteur des marches correspond à la composante normale à la surface du vecteur de Burgers des dislocations tandis que leur orientation est intimement liée à leur plan de glissement [1]. L'analyse de ces marches apporte des informations importantes sur les mécanismes de plasticité [2]. Par ailleurs, celles-ci peuvent venir cisailler les marches atomiques déjà présentes à la surface du matériau, les marches vicinales, et conduire à de nouvelles configurations de surface. Elles constituent ainsi un nouveau moyen de nano-structurer des surfaces afin de leur conférer de nouvelles propriétés physiques. Bien que la stabilité des nanostructures de surface ainsi obtenue soit essentielle, il n'existe à ce jour pas d'étude expérimentale de l'interaction entre marches vicinales et traces de glissement. Dans cette étude, nous avons déformé des monocristaux d'or dans un dispositif original appelé 'Nanoplast' [3] qui permet un suivi en temps réel des évolutions de surface par microscopie à sonde locale, AFM ou STM, Deux procédures expérimentales ont été utilisées pour la déformation d'un monocristal :1) à température ambiante (TA) ; 2) à basse température (180K) suivie d'un recuit à TA. Dans ce dernier cas, nous avons montré que la configuration basse température évolue au cours du recuit vers une structure similaire à celle obtenue lors de la déformation directe à TA.

La figure 1a montre la configuration formée à basse température par intersection entre des marches vicinales et des traces de glissement. On peut définir 4 niveaux de terrasses autour de chaque point d'intersection, comme indiqué dans le carré blanc. Après recuit (fig. 1b), on constate une augmentation du rayon de courbure des terrasses supérieures (niveau 2) et inférieure (niveau 0) et la formation d'un « pont » au niveau des terrasses intermédiaires (niveau 1). En faisant l'hypothèse de portions de cercles (figure 2), nous avons calculé l'énergie de chacune des configurations et confirmer la stabilité des marches arrondies (équation. 1) [4]

$\gamma_1 \sum_i (2\alpha R_i) \leq 2\gamma_1 \sum_i (R_i tg(\alpha))$ (1) où γ_1 est l'énergie de ligne d'une marche unitaire et i = up ou down.

La généralisation de cette modélisation à des traces de glissement de hauteurs multiples montre que la restructuration de surface dépend du rapport entre les énergies de ligne des marches unitaires γ_1 et multiples γ_n. Dans le cas ou $\gamma_n > n\ \gamma_1$, la structure initiale est toujours déstabilisée, tandis que si $\gamma_n < n\ \gamma_1$, il existe un angle critique en dessous duquel cette structure reste stable.

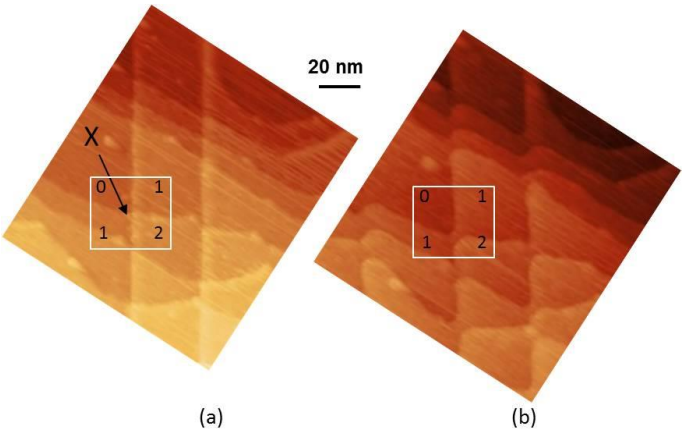


Figure 1 : Configuration des marches vicinales cisaillées par une dislocation a) à basse température (180K) et b) après recuit à température ambiante.

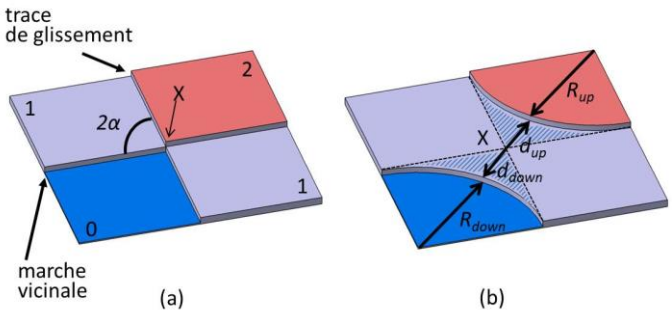


Figure 2 : Représentation schématique de l'évolution de la structure de surface lors du recuit.

Références

[1] Coupeau, C. ; Girard, J.C. ; Rabier, J. ; Dislocations in solids, Vol. 12(4), 2004, pp. 273-338.
[2] Engbaek, J. ;. Schiotz, J ; Dahl-Madsen, B.; Horch, S.; Phys. Rev. B, 74 (2006) 195434
[3] Nahas, Y. et al , Rev. Scientific Instrum., 84 (2013) 105117.
[4] Coupeau, C ; Camara, O ; Drouet, M ;. Durinck, J ; Bonneville, J ; Colin, J ; Grilhé, J ; Phys. Rev. B 93, 041405(R) (2016)

Session 15 « Cuvier » Vendredi 25 Mars, 10h40 – 11h30

Jean Léopold Nicolas Frédéric Cuvier, dit Georges Cuvier, est un anatomiste français, promoteur de l'anatomie comparée et de la paléontologie au XIXe siècle.
Considéré comme un des plus grands savants de son temps, Georges Cuvier, le père de la paléontologie, est né à Montbéliard où il faillit devenir pasteur. Mais cet enfant génial laissa libre court à sa passion pour les espèces animales. Un choix bien heureux, car ses petits cahiers d'écolier donneront naissance à la classification moderne des animaux.

10h40 : **Christina Villeneuve Faure**, Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie UPS INPT Université de Toulouse.
Méthodologie pour la mesure de charges d'espace par microscopie à sonde de Kelvin (KPFM)

11h05 : **Bruno Bresson,** Laboratoire SIMM ESPCI CNRS UMR 7615 Université Paris 6.
Picometer-scale surface roughness measurements inside hollow glass fibres

Méthodologie pour la mesure de charges d'espace par microscopie à sonde de Kelvin (KPFM)

Christina Villeneuve, Florian Mortreuil, Laurent Boudou, Kremena Makasheva et Gilbert Teyssedre

Université de Toulouse ; UPS, INPT ; LAPLACE (Laboratoire Plasma et Conversion d'Energie) ; 118 route de Narbonne, F-31062 Toulouse cedex 9, France.
CNRS ; LAPLACE ; F-31062 Toulouse, France.

Une des principales propriétés d'un matériau diélectrique est de pouvoir stocker des charges électriques sous l'action d'une contrainte extérieure (champ électrique, irradiation…). Cette propriété, exploitée pour certaines applications, est en général source de défaillance. Les mécanismes d'injection et de rétention de charges dans les isolants font donc l'objet d'un grand nombre d'études. Cependant, les techniques classiques de mesure de charges (résolution spatiale de quelques microns) sont inappropriées pour l'étude des films diélectriques minces (quelques nanomètres à quelques microns) [1-2]. Par conséquent, du fait de leur résolution spatiale nanométrique, les techniques dérivées de l'AFM telles que la microscopie à force électrostatique (EFM) ou la microscopie à sonde de Kelvin (KPFM) sont de plus en plus utilisées pour étudier l'injection et la rétention de charges [2]. Toutefois, certains points bloquants demeurent, telle que la détermination du profil de charges en 3 dimensions [3].
Pour s'affranchir du manque de sensibilité en volume des techniques dérivées de l'AFM, une solution originale consiste à utiliser des structures avec électrodes latérales enfouies dans le diélectrique, permettant ainsi d'appliquer un champ électrique dans un plan perpendiculaire à l'axe de la pointe AFM. Cette configuration a déjà été utilisée pour étudier l'injection de charges dans des semi-conducteurs organiques, sans toutefois parvenir à extraire de manière rigoureuse les profils de charges à partir des mesures de potentiel de surface [4]. L'objectif du travail présenté ici est donc d'étudier l'influence de la technique utilisée pour la mesure du potentiel de surface (AM-KPFM et FM-KPFM) et du post-traitement des données permettant d'extraire un profil de charges d'espace.

Les échantillons étudiés sont composés de deux électrodes latérales en aluminium enterrées dans une couche de SiN_x déposée par *Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition* (PECVD). L'injection de charges est réalisée en polarisant chacune des électrodes (durée fixée), puis le potentiel de surface est mesuré par KPFM en modulation d'amplitude (AM) et en modulation de fréquence (FM). La figure 1 présente une cartographie de topographie (figure 1.a) et de potentiel en AM-KPFM (figure 1.b) obtenues après polarisation (+/-20V pendant 1h). Le signe du potentiel donne une indication sur la nature des porteurs injectés (positif pour les trous et négatif pour les électrons).
La figure 2 montre que le profil de potentiel mesuré après polarisation est plus intense dans le cas des mesures FM-KPFM comparativement aux mesures AM-KPFM. Cela est probablement dû à la différence de sensibilité entre les deux méthodes (*Point Spread Function* [5]). Nous montrons ainsi que le FM-KPFM serait à privilégier pour ce type de mesures. Par la suite deux méthodes permettant d'extraire la densité de charges à partir du potentiel de surface mesuré ont été utilisées (i) une méthode numérique (double dérivation du potentiel de surface) et (ii) une méthode par éléments finis sous COMSOL. Pour le profil FM-KPFM de la figure 2, les deux méthodes donnent des résultats équivalents quant à la largeur à mi-hauteur et à la position des pics de charges par rapport aux interfaces (respectivement 600nm et 800nm). En revanche un facteur 10 est observé sur le maximum du pic de charges (2000C/m^3 en éléments finis contre 200C/m^3 par dérivation pour les électrons). Cela est principalement dû au fait que la méthode par dérivation est monodimensionnelle et qu'elle ne prend donc pas en compte la dimension de la couche diélectrique dans la direction de la pointe.
Dans cette étude nous avons montré la faisabilité de mesures de profils de charges d'espace à l'échelle nanométrique en utilisant une mesure de potentiel de surface par FM-KPFM couplée à une modélisation par éléments finis.

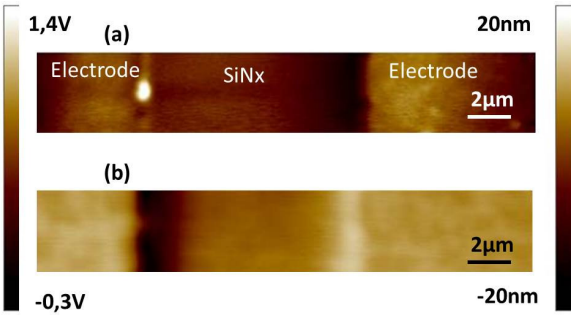


Figure 1 : cartographie en (a) topographie et (b) potentiel KFM après une polarisation de 1h à +/-20V avec anode à droite

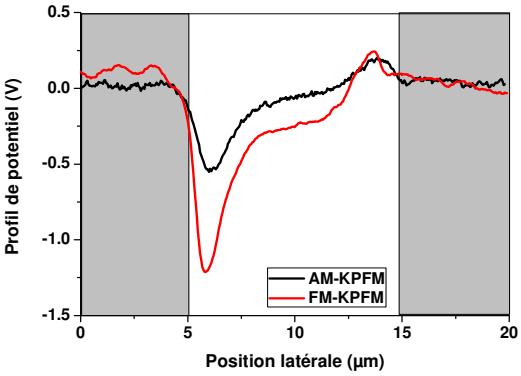


Figure 2 : comparaison des profils de potentiel mesurés en AM-KPFM et en FM-KPFM après une polarisation de 1h à +/-20V

[1] Teyssedre G., Villeneuve C., Boudou L., Makasheva K., *Proc. IEEE Conf. Electr. Insul. Dielectr. Phenomena (CEIDP)* **2012**, 234.
[2] Rezende C.A., Gouveia R.F., Da Silva M.A. and Galembeck F., *J. Phys.: Condens. Matter* **2009**, *21*, 263002.
[3] Pallau E., Ressier L., Borowik L. and Melin T., *Nanotechnology* **2010**, *21*, 225706.
[4] Silveira W.R. and Marohn J.A., *Phys. Rev. Lett.* **2004**, *93*, 116104
[5] Cohen G., Halpern E., Nanayakkara S.U., Luther J.M.,Held , Bennewitz R.,Boag A. and Rosenwaks Y. N*anotechnology* **2013**, *24*, 295702.

Picometer-scale surface roughness measurements inside hollow glass fibres

B. Bresson [(1)], C. Brun [(4)], X. Buet [(4)], M. Ciccotti [(1)], G. Tessier [(2)], F. Poletti [(3)], M. Petrovitch [(3)], D. J. Richardson [(3)], B. Tyukodi [(4)], D. Vandembroucq [(4)]

(1) Laboratoire SIMM, ESPCI, CNRS UMR 7615, Univ. Paris 6 UPMC, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France
(2) Institut Langevin, ESPCI, CNRS UMR 7587, 1 rue Jussieu, 75238 Paris,
(3) Optoelectronics Research Center, Univ. Southampton, Highfield, Southampton, SO17 1BJ, UK
(4) Laboratoire PMMH, ESPCI, CNRS UMR 7636, Univ. Paris Diderot, 10 rue Vauquelin, 75005 Paris, France

Hollow core-photonic bandgap fibres (HC-PBGF) in which a periodic cladding made of air holes allows light to be guided in a central air core are of great interest as a potential transmission medium in optical communication system. The roughness of the inner surface of such fibres is extremely low: it is controlled by the competition between the thermal noise at the glass transition and the surface tension. In a first approximation, glass can be viewed as a liquid abruptly frozen at the glass transition temperature TG: the surface capillary waves that are thermally excited in the liquid state are frozen and the power spectral density of the roughness presents a characteristic 1/f behavior. The combination of optical differential profilometry measurements and atomic force microscopy measurements allows studying the inner surface within glass capillary tubes and HC-PBGF over a large spatial frequency range.

Session « Peugeot »

Peugeot est un constructeur automobile français fondé par Armand Peugeot en 1896.

À l'origine, l'entreprise produisait des moulins de table et notamment des moulins à café. Elle a aussi commercialisé des bicyclettes ainsi que des outils comme les perceuses.

Aujourd'hui, l'entreprise Peugeot appartient au groupe PSA Peugeot Citroën positionné sur le marché international.

P01 **Jan Patrick CALUPITAN**, Switching terarylenes with varying stimuli

P02 **Anthony THOMAS**, Etude de la croissance de molécule organique sur une couche mince d'alumine

P03 **Hailu Gebru KASSA**, Mesurer les propriétés viscoélastiques de matériaux polymères super mous ? C'est super dur … ou pas !

P04 **Antoine HINAUT**, Géométries d'adsorption de molécules uniques de Cu-TCPP sur la surface de Rutile TiO2 (110)

P05 **Denis MARIOLLE**, AtomicJ : un logiciel open-source pour l'analyse de courbe de force et l'évaluation des propriétés mécaniques Application à l'étude d'un gel de PDMS

P06 **Pascal FALGAYRETTES**, Implémentation d'une sonde SNOM intégrée de type levier sur un microscope commercial

P07 **Laurie LETERTRE**, Caractérisation par AFM (photo)-conducteur de nanostructures de MoS2 dopé au rhénium pour nouveaux mélanges photovoltaïques hybrides

P08 **Toni MASSOUD**, Study of self-assembled films of fatty amines and derivatives compounds using in situ AFM

P09 **Van Son NGUYEN**, Caractérisations de cellules de mémoires résistives par AFM à pointe conductrice

P10 **Rémy PAWLAK**, Interdependence of adsorption site and charge distribution in a single donor-acceptor molecule adsorbed on an ionic crystal

P11 **Rémy PAWLAK**, Modification de l'état de charge local de porphyrines sur TiO2(110) induite par la présence de groupements hydroxyles

P12 **Lucas JALOUSTRE**, Effects of mechanical stress on electronic properties of single III-Nitride Nanowires

P14 **Lionel PATRONE**, Nouveaux chromophores push-pull à base de thiophène : synthèse et monocouches auto-assemblées

P15 **Younes MAKOUDI**, Formation d'un réseau moléculaire 3D sur surface de silicium par effet Template moléculaire

P16 **Marion CRANNEY**, Etude expérimentale et théorique de structures d'or intercalées sous graphène épitaxié sur SiC(0001)

P17 **Frédéric HOUZE**, Formation de matière sur des surfaces imagées par AFM en mode intermittent : un artefact inattendu

P18 **Marion MATHELIE-GUINLET**, Effets de taille et de charge sur la toxicité induite par des nanoparticules de silice sur des bactéries Escherichia coli et Bacillus subtilis

P19 **Jean-Luc BUBENDORFF**, Cristallisation de couches ultra-minces d'oligomères conjugués pour des applications du type Field Emission Transistor

P20 **Benoit EYDOUX**, Atomic structure determination of the (2×2) reconstructions of the polar AlN(0001) surface and atomic metallic deposition

P21 **Tomaso ZAMBELLI**, FluidFM for (electrochemical) lithography

P22 **Elizabeth BOER-DUCHEMIN**, Excitation de plasmons de surface par microscope à effet tunnel : interaction avec des nanostructures 1D

P23 **Rouzhaji TUERHONG**, Specific Kondo physics in transition-metal phthalocyanines on surfaces

P24 **Hubert KLEIN**, Détermination robuste de la conductance d'une molécule unique ?

P25 **Jean-Luc BUBENDORFF**, Croissance par voie électrochimique et propriétés magnétiques et topographiques de couches minces de Co sur Si(111)

POSTERS INDUSTRIELS

PE-1 **Rafaël BARBATTINI / Oxford Instruments**, Contact Resonance AFM in Air and Liquid Using blueDrive™ Photothermal Actuation

PE-2 **Vincent PARAT / Lovalite**, AFM STUDY OF GRAPHENE INTRACTION WITH SIO2 SURFACE

PE-3 **Matthias A. FENNER / Keysight**, Improved Method for Probing Resistivity and Doping Concentration of Semiconductors at the Nanoscale Using Scanning Microwave Microscopy (SMM)

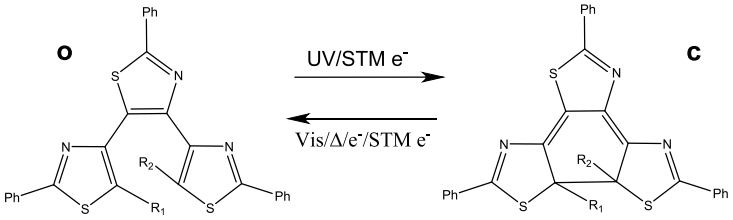
PE-4 **Mickael FEBVRE**, Imagerie haute résolution avec le mode Peak Force Tapping

Switching terarylenes with varying stimuli

Jan Patrick CALUPITAN[1,2], Takuya NAKASHIMA[1], Gwénaël RAPENNE[2,3], Tsuyoshi KAWAI[1,2]

[1]Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology
8916-5 Takayama, Ikoma, Nara, Japan
[2] NAIST-CEMES International Collaborative Laboratory, NAIST, CEMES-UPR 8011 CNRS, 29 rue J. Marvig, F-31055 Toulouse, France
[3] CNRS, CEMES-UPR 8011, BP 94347, 29 rue J. Marvig, F-31055 Toulouse, France

Terarylenes, a class of molecules with two stable forms (o and c in Figure 1), have been used for photon-quantitative reactions, electroluminescent materials, photo-acid generators, and photosensitive supramolecules. [1] Here, we report on different modes of switching between o and c. First, light-induced cyclization reaction (o-c) was observed to proceed with high quantum yields; but the cycloreversion (c-o) quantum yields are low. [2] Second, thermally-induced cycloreversion, although kinetically-hindered, is possible since the o-forms are slightly more stable than the c-forms. Next, chemically-induced oxidation was found to be an efficient and fast mode of switching since the radicals propagate the cycloreversion by a chain-reaction mechanism. [3] Lastly, tunneling electrons and/or electric field induced by an STM tip were recently found to switch terarylenes between its two forms. This variety of switching modes could potentially broaden the range of applications of these bistable molecules.



1: R_1, R_2 = Ph
2: R_1 ~ R_2 ~ CH_3 ~
3: R_1, R_2 = OCH_3
4: R_1, R_2 = CH_3

Figure 1 : Terarylene structure and various switching modes between open (o) and closed (c) forms.

Références

[1] Fukumoto S., Nakashima,; T.; Kawai, T.; *Angew. Chem., Int. Ed.*, **2011**, *50,* 1565-1568; Taguchi, M.; Nakagawa, T.; Nakashima, T.; Adachi, C.; Kawai, T. *Chem. Commun.*, **2013**, *49,* 6373-6375; Nakashima, T.; Kawai, T.; et. al, *J. Am. Chem. Soc.*, **2015**, *137*, 7023-7026; Nakashima, T.; Yamamoto, K.; Kimura, Y.; Kawai, T.;*Chem. Eur. J.,* **2013**, *19,* 16972-16980; Nakashima, T.; Kawai, T.; et. al, *Chem. Eur. J.*, **2014**, *20*, 13722-13729.
[2] Nakashima, T.; Kawai, T.; et. al, *Eur. J. Org. Chem.*, **2007**, 3212-3218.
[3] Nakashima, T.; Kawai, T.; et. al, *J. Am. Chem. Soc.*, **2012**, *134*, 19877-19883; *Manuscript under review*, **2016**.

Etude de la croissance de molécule organique sur une couche mince d'alumine

Anthony THOMAS, Thomas LEONI, Alain RANGUIS, Conrad BECKER

Centre Interdisciplinaire de Nanoscience de Marseille, 13288 Marseille, France

thomas@cinam.univ-mrs.fr

L'élaboration de dispositifs exploitant les propriétés optoélectroniques de couches moléculaires organiques est activement étudiée en raison des perspectives d'applications (diode électroluminescente, transistor, film souple de cellules solaires, papier peint luminescent...). L'un des facteurs limitants majeurs des dispositifs électroniques à base de molécules organiques est la faible mobilité électrique. Il a été démontré que la conductivité électrique d'une couche moléculaire est maximisée lorsque celle-ci est parfaitement ordonnée[1]. Le pentacène, bien qu'étant l'une des molécules organiques les plus étudiées à cause de sa haute mobilité électrique, échoue à former de larges domaines organisés sur plusieurs couches. De plus, ce composé n'est pas suffisamment stable sous conditions ambiantes. Pour pallier ces problèmes, nous avons étudié une molécule dérivée du pentacène, le dihydrotetraazapentacène (DHTAP). Une étude précédente par STM sur l'Au a montré que cette molécule forme de grands domaines 2D parfaitement ordonnés stabilisés par des liaisons hydrogènes[2]. Afin de découpler les états électroniques de la molécule du substrat nous avons étudié la croissance du DHTAP sur une fine couche γ'-Al_2O_3 sur substrat $Ni_3Al(111)$[3]. La structure organisée de l'alumine pourrait fournir des sites préférentiels pour la croissance du DHTAP et ainsi former une couche parfaitement ordonnée. Or les premières études réalisées sur ce système montrent un démouillage du DHTAP. Les images STM montrent une organisation complexe où l'on peut trouver localement deux structures cristallines distinctes.

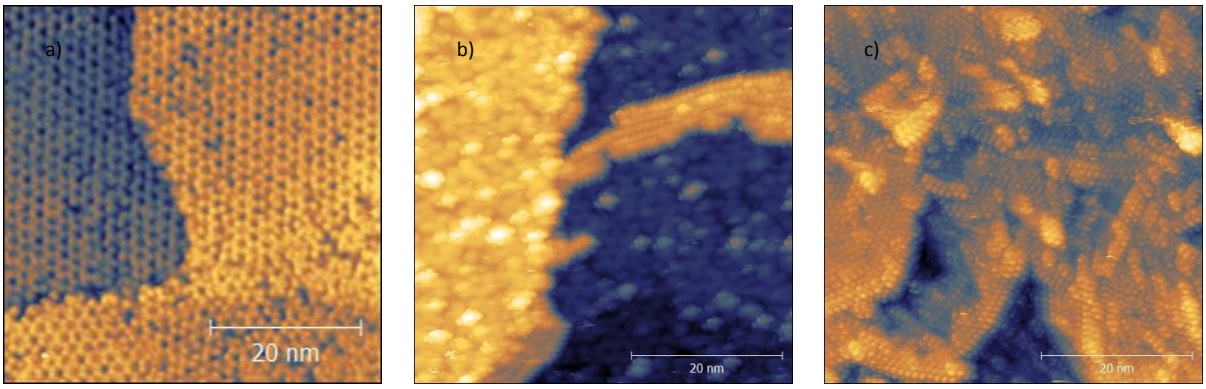


Image STM : a) Surface Al_2O_3, U_{bias}=3.2V, I_t=100pA. b et c) croissance du DHTAP à 300K sur Al_2O_3. U_{bias}=2.5V, I_t=10pA. b) θ=0.6ML (ML=Mono Layer) et c) θ=1.8ML.

[1] Dimitrakopoulos, C.D., and Malenfant , P.R.L. *Adv. Mater. (2002). 14, 99 – +.*
[2] Lelaidier, T., Leoni, T., Arumugam, P., Ranguis, A., Becker, C., and Siri, O. *Langmuir (2014). 30, 5700–5704.*
[3] Rosenhahn, A., Schneider, J., Becker, C., and Wandelt, K. *Appl. Surf. Sci. (1999). 142, 169–173.*

Mesurer les propriétés viscoélastiques de matériaux polymères super mous ? C'est super dur … ou pas !

Hailu G. Kassa [1], David B. Haviland [2], Daniel Forchheimer [2],
Daniel Platz [2], and **Philippe Leclère [1]**

[1] Service de Chimie des Matériaux Nouveaux
Centre d'Innovation et de Recherche en Matériaux Polymères (CIRMAP)
Université de Mons (UMONS),
B-7000 Mons, Belgique.

[2] Nanostructure Physics and Nordita
Royal Institute of Technology (KTH)
SE-10691 Stockholm, Suède.

Comprendre et contrôler les forces à l'échelle du nanomètre est un problème scientifique de grande importance et concerne une grande variété d'applications technologiques. Les progrès acquis dans ce domaine et le développement de nouveaux matériaux vont de pair avec la mise au point d'outils de plus en plus performants et sensibles ainsi que de méthodes plus précises pour mesurer correctement les forces présentes à la surface. Les avancées récentes dans le domaine de la microscopie à force atomique et les méthodes dynamiques de mesure de force ont ouvert la voie à un examen critique des modèles physiques couramment utilisés pour décrire l'interaction pointe-surface.

Pour certains matériaux, et en particulier pour les polymères qui ont la capacité de se déformer ou de fluer, ces interactions pointe-surface ne peuvent plus être décrites par un modèle purement élastique. Idéalement, une description « rhéologique » de cette interaction pointe-surface devrait également inclure les forces entropiques lorsque la pointe pénètre la surface, les forces capillaires associées à courbure de la surface, et enfin les forces visqueuses qui dépendent de la vitesse de la pointe vis-à-vis de la surface.

Dans ce travail, nous étudions en détail l'interaction entre une pointe AFM et des surfaces de mélanges de polymères viscoélastiques en utilisant une méthode basée sur une analyse multifréquencielle du signal enregistré par la photodiode du microscope AFM. Il s'agit de l'*intermodulation AFM (ImAFM)* [1]. Cette technique est basée sur une sollicitation du levier par deux fréquences voisines (situées dans le pic de résonance du levier) et une analyse spectrale du produit de leur intermodulation, et ce, pour chaque pixel de l'image. De cette analyse fréquentielle, les courbes de force sont reconstruites en temps réel et nous pouvons mesurer la dépendance de l'amplitude du levier à la fois en phase et en quadrature avec le signal envoyé (à l'instar de ce qui se fait macroscopiquement en analyse mécanique dynamique). Nos résultats montrent clairement l'effet du temps de relaxation fini de la surface viscoélastique. Ainsi, nous avons pu montrer comment une variation de quelques nanomètres de la surface et le comportement d'hystérésis observés dans les courbes de force peuvent être facilement expliqués grâce à un nouveau modèle d'interaction qui inclut le mouvement de la surface [2]. Notons que cet aspect est généralement négligé dans la plupart des modèles existants. Par cette approche originale, nous sommes capables d'expliquer les mesures sur une grande variété de mélanges de polymères et d'en extraire les propriétés mécaniques et viscoélastiques locales.

Notre modèle considérant le déplacement de la surface lors de l'interaction de la pointe avec cette surface représente dès lors une nouvelle manière d'appréhender l'analyse par AFM des propriétés mécaniques des matériaux à l'échelle locale et autorise de ce fait l'obtention d'une cartographie en haute résolution de celles-ci comme par exemple leur rigidité, leur adhésion ou encore leur viscosité.

[1]. D. Platz, E.A. Tholen, D. Pesen and D.B. Haviland, *Appl. Phys. Lett.*, **2008**, *92*, 153106.
[2]. D.B. Haviland, C.A. van Eysden, D. Forchheimer, D. Platz, H.G. Kassa, and Ph. Leclère, *Soft Matter*, **2016**, *12*, 619.

Géométries d'adsorption **de molécules uniques de Cu-TCPP sur la surface de Rutile TiO_2 (110)**

Res Jöhr, **Antoine Hinaut**, Rémy Pawlak, Ali Sadeghi, Stephan Goedecker, Thilo Glatzel, E. Meyer

Département de physique, Université de Bâle, Suisse

Les surfaces de Titane fonctionnalisées, notamment par des molécules de type porphyrines comportant un atome métallique présentent un intérêt croissant pour la photocatalyse ou le photovoltaïque [1,2]. Pour étudier simultanément les géométries d'adsorption des molécules et leur influence sur le transfert de charge entre molécule et substrat, l'AFM en mode non contact (ncAFM) couplé au microscope à sonde de Kelvin (KPFM) est la méthode de référence.

Dans notre étude [1], les configurations d'adsorption de molécules, des porphyrines meso-tetra (4-carboxyphenyle) comportant un seul atome de cuivre(II) (Cu-TCPP), sur la surface de TiO_2 rutile (110) ont été étudiées. Des images haute résolution des molécules ainsi que du substrat ont été obtenues par imagerie ncAFM à température ambiante (Fig. 1a). Le KPFM, est utilisé pour l'étude des propriétés électroniques des molécules adsorbées.

Les mesures révèlent que les molécules s'alignent en deux principales orientations selon les directions du substrat. Dans les deux cas, le KPFM montre une différence locale de potentiel de contact (LCPD) au niveau des molécules (Fig. 1b,c) indiquant que leur adsorption s'accompagne d'un transfert de charge vers le substrat. Des calculs DFT s'accordent avec les résultats expérimentaux.

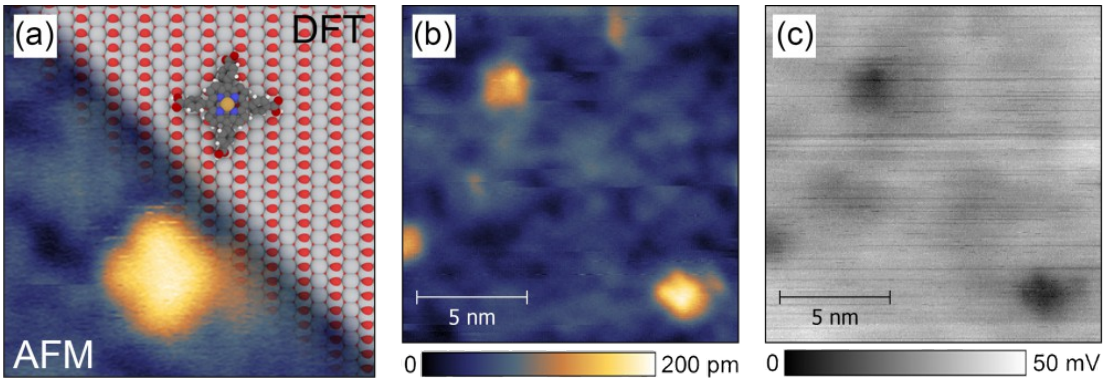


Figure 1 : **Cu-TCPP / TiO_2 rutile (110) (a)** Comparaison entre image nc-AFM haute résolution et géométrie d'adsorption (calcul DFT), **(b)** Topographie nc-AFM montrant les deux géométries d'adsorption. **(c)** Image LCPD correspondante.

Références :

[1] O'regan, B., & Grätzel, M. Nature **1991**, *353*(6346), 737.
[2] Yella, A., Lee, H. W., Tsao, et al. Science **2011,** *334*(6056), 629.
[3] Jöhr, R., Hinaut, A., Pawlak, et al. *The Journal of Chemical Physics* **2015**, *143(9), 094202.*

AtomicJ : un logiciel open-source pour l'analyse de courbe de force et l'évaluation des propriétés mécaniques – Application à l'étude d'un gel de PDMS

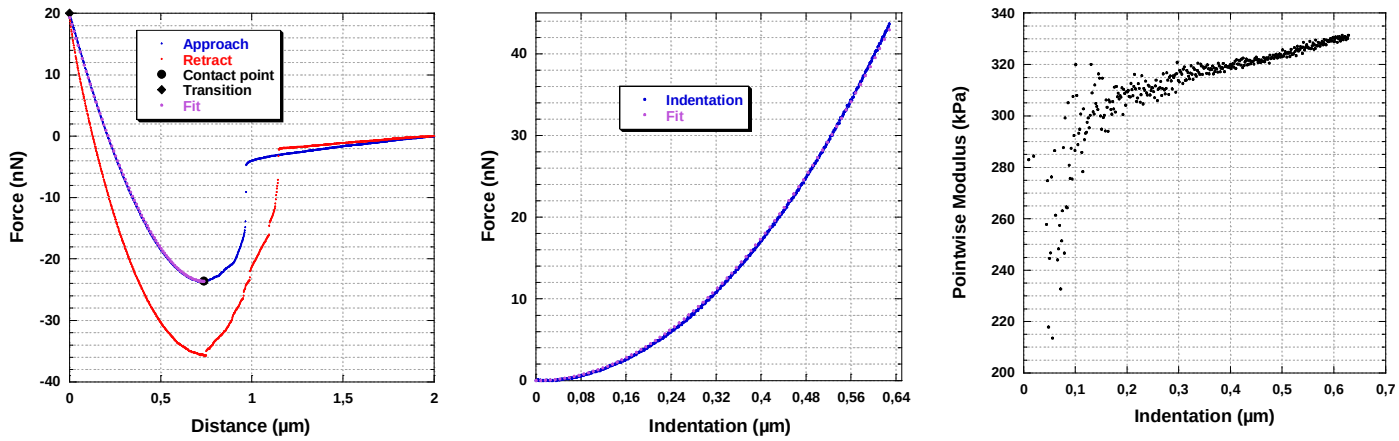
Denis MARIOLLE[1], Camille MARIE[1], Paweł HERMANOWICZ[2] & Nicolas CHEVALIER[1]

[1] Univ. Grenoble Alpes, F-38000 Grenoble, France
[1] CEA, LETI, MINATEC Campus, F-38054 Grenoble, France.
[2] Department of Plant Biotechnology, Faculty of Biochemistry, Biophysics and Biotechnology, Jagiellonian University, Gronostajowa 7, 30–387 Kraków, Poland

L'analyse locale des propriétés mécaniques par AFM est un domaine en pleine croissance, en biologie [1] comme en sciences des matériaux, par exemple pour les polymères [2]. Un des modes de mesure des propriétés mécaniques reposent sur l'acquisition, plus ou moins rapide (typiquement de 0.1 à quelques kHz) de « courbes de force », qui sont exploitées pour extraire un module d'Young, une adhérence et une déformation. Cette exploitation repose sur l'utilisation de modèles (Hertz, Sneddon, JKR, …) basés sur la mécanique du contact statique des matériaux continus et isotropes.

En fonction du type d'indenteur (forme et dimension) et de la nature du contact (amplitude de la déformation du matériau sondé, contact adhésif ou non, élasticité pure ou viscoélasticité, etc.), le choix du modèle à appliquer peut s'avérer être difficile. Tous les modèles ne sont pas implémentés sur les microscopes commerciaux et ne permettent, bien souvent, qu'une estimation du module élastique. Récemment [3], Paweł Hermanowicz de la Faculté de Biochimie de l'université Jagellon à Cracovie (Pologne) a développé « AtomicJ » [4], un logiciel open-source sous licence GNU écrit en Java. Ce logiciel permet de traiter les fichiers acquis sur les principaux outils du marché (8 formats supportés) et inclut près d'une vingtaine de modèles de contact entre la pointe et l'échantillon.

Dans ce travail, nous présenterons, après la caractérisation physico-chimique d'un gel de PDMS (épaisseur ~1 mm) par XPS et Tof-SIMS, une étude portant sur l'effet de la fréquence d'acquisition des courbes de force (modes Force-Volume et PeakForce Tapping). Les différentes modélisations proposées dans le logiciel AtomicJ pour le traitement de ces courbes de force seront passées en revue. La figure 1 présente un exemple de courbe de force obtenue sur le gel de PDMS, et analysée par un modèle d'indentation conique [5].



(a) (b) (c)

Figure 1 : (a) Courbe force-distance obtenue sur un gel de PDMS avec une pointe en silicium (k = 0,4 Nm), vitesse d'indentation de 1 µm/s. Modélisation avec AtomicJ : indenteur conique, demi-angle de 21,5°, coefficient de poisson du matériau indenté : 0,5. La position du point de contact (rond noir) est déterminée par le logiciel. Le triangle noir correspond au point de divergence (« transition ») entre modèle (en violet) et mesure. (b) Représentation de la force en fonction de de la profondeur d'indentation sur la courbe d'approche (en bleu). Les points en violet correspondent au modèle d'un indenteur conique. (c) Evolution du module d'Young en fonction de la profondeur d'indentation.

[1] Jason Kilpatrick, Irène Revenko, & Brian J. Rodriguez, *Advanced Healthcare Materials* **2015**, *4*, 2456.
[2] Marius Chyasnavichyus, Seth L. Young, Kvetoslava Burda & Vladimir V. Tsukruk, *Japanese journal of applied Physics* **2015**, *8S2*, 08LA02.
[3] Paweł Hermanowicz, Michał Sarna, Kvetoslava Burda & Halina Gabryś, *Review of Scientific Instruments* **2014**, *85*, 063703.
[4] http://sourceforge.net/projects/jrobust/
[5] J.W Harding & I.N. Sneddon, *Proc Camb Philol Soc* **1945**, *41(1)*, 16.

Implémentation d'une sonde SNOM intégrée de type levier sur un microscope commercial

Pascal FALGAYRETTES[1], Pascale GALL-BORRUT[1], Benoit BELIER[2], Anna TSIGARA[2*]

[1] *Université Montpellier -Institut d'Electronique et des Systèmes – 860 rue de St Priest – 34095 Montpellier Cedex5*

[2] *IEF - Université Paris Sud - Rue André Ampère Bât 220 - 91404 Orsay Cedex – France*

** adresse actuelle : Seagate - Derry - Irlande du Nord*

La sonde à base de matériau polymère a été conçue pour pouvoir être utilisée en modes collection et illumination ce qui n'est pas le cas des sondes SNOM de type cantilever commerciales qui ne permettent de travailler qu'en mode illumination. La conception et la fabrication de la sonde ont été décrites dans [1]. Sa structure est rappelée figure 1.

Montage de la sonde sur le SNOM : La sonde est collée sur une carte µSD « maison » et les contacts avec le photodétecteur sont réalisés par micro-soudure. L'ensemble carte µSD/sonde est amovible grâce à un connecteur standard de carte µSD fixé sur un support adapté au microscope SNOM commercial (αSNOM WITec) (figue 2).

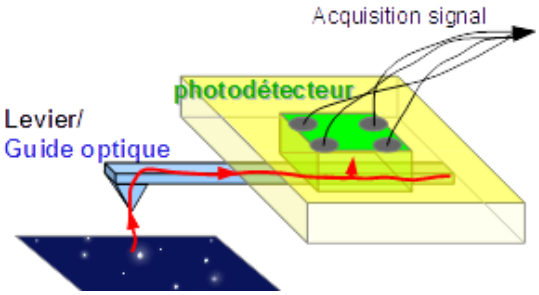


Figure 1 : Structure et fonctionnement de la sonde

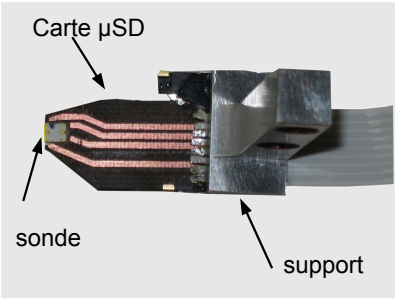


Figure 2 :Sonde montée sur carte µSD/connecteur/support

Caractérisation de la sonde : Des images de la sonde sont réalisées au microscope électronique à balayage. D'autre part, la sonde est utilisée pour imager une surface de verre comportant des motifs métalliques (NT-MDT SNG01), en configuration transmission-collection ainsi qu'en configuration illumination « standard » par la face arrière de la pointe et avec le détecteur du microscope (figure 3). La combinaison de l'analyse des images MEB et des images SNOM permet de détecter et localiser les défauts mécaniques et optiques de la sonde afin de déterminer à quelle étape de fabrication ils sont associés. Les images SNOM sont comparées à celles qui sont obtenues avec une sonde commerciale en configuration transmission-illumination standard. Les résultats sont analysés en terme de résolutions topographique et optique, de sensibilité relativement au détecteur utilisé dans chacun des cas et de facilité de mise en œuvre.

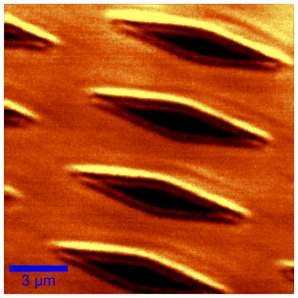


Figure 3 Image SNOM en configuration illumination standard

Référence

[1] Tsigara, A. ; Belier, B. ; Maillard, F. ; Falgayrettes, P. ; Nativel, E. ; Kribich, R. ; Gall-Borrut, P. *NSTI-Nanotech 2014*, ISBN 978-1-4822-5827-1 *Vol.2*, **2014**

Caractérisation par AFM (photo)-conducteur de nanostructures de MoS_2 dopé au rhénium pour nouveaux mélanges photovoltaïques hybrides

Laurie Letertre[1], Lena Yadgarov[2], Olivier Douhéret[3], Rita Rosentsveig[2], Reshef Tenne[2], Roberto Lazzaroni[1,3], Philippe Leclère[1]

[1] *Service de Chimie des Matériaux Nouveaux – Centre d'Innovation et de Recherche en MAtériaux et Polymères - CIRMAP, Université de Mons (UMONS), Mons, Belgique.*
[2] *Department of Materials and Interfaces, Weizmann Institute of Science, Rehovot 76100, Israel.*
[3] *Materia Nova R&D Center, Mons, Belgique.*

Les défis énergétiques actuels induisent une intense recherche dans le domaine du photovoltaïque (PV). La troisième génération de cette technologie PV inclut les cellules dites organiques et hybrides, ces dernières bénéficiant d'une part de la bonne stabilité des semiconducteurs inorganiques, et d'autre part des faibles coûts de fabrication, de la possibilité d'obtenir de larges surfaces et de la flexibilité des matériaux organiques. Dans ce travail, des nanoparticules (NPs) de MoS_2 dopé au rhénium (type n) sont mélangées avec le polymère donneur de référence poly(3-hexylthiophène) (P3HT). Le MoS_2 forme des cristaux bidimensionnels qui s'auto-assemblent via des forces de van der Waals. Dans notre étude, il se présente sous la forme d'une superposition de sphères monocristallines (structure dénotée IF). Son affinité électronique et son gap optique sont appropriés pour jouer un rôle d'accepteur d'électrons dans un mélange PV hybride. La microscopie à force atomique en mode conducteur (C-AFM) est utilisée pour déterminer non seulement la morphologie à l'échelle nanométrique du mélange mais aussi d'établir une corrélation de cette dernière avec la cartographie 2D de propriétés électriques locales mesurées simultanément (Figure 1). De cette manière, nous pouvons, d'une part, identifier et caractériser les matériaux en présence par leur nanostructuration et leur conductivité et, d'autre part, évaluer la pertinence de leur mélange pour des applications PV. Nous avons notamment pu mettre en évidence le fait que les IF-NPs de MoS_2 se comportent comme des centres de nucléation, assurant la présence d'interfaces donneur/accepteur et favorisant l'auto-organisation en fibrilles du P3HT, ce qui garantit une mobilité de trous élevée dans ce matériau. La photo-génération de charges sous illumination *in situ* du mélange est étudiée via des mesures de Photo-C-AFM, confirmant le rôle d'accepteur d'électrons du IF-MoS_2 et sa pertinence en mélange avec le P3HT pour fabriquer des structures PV hybrides.

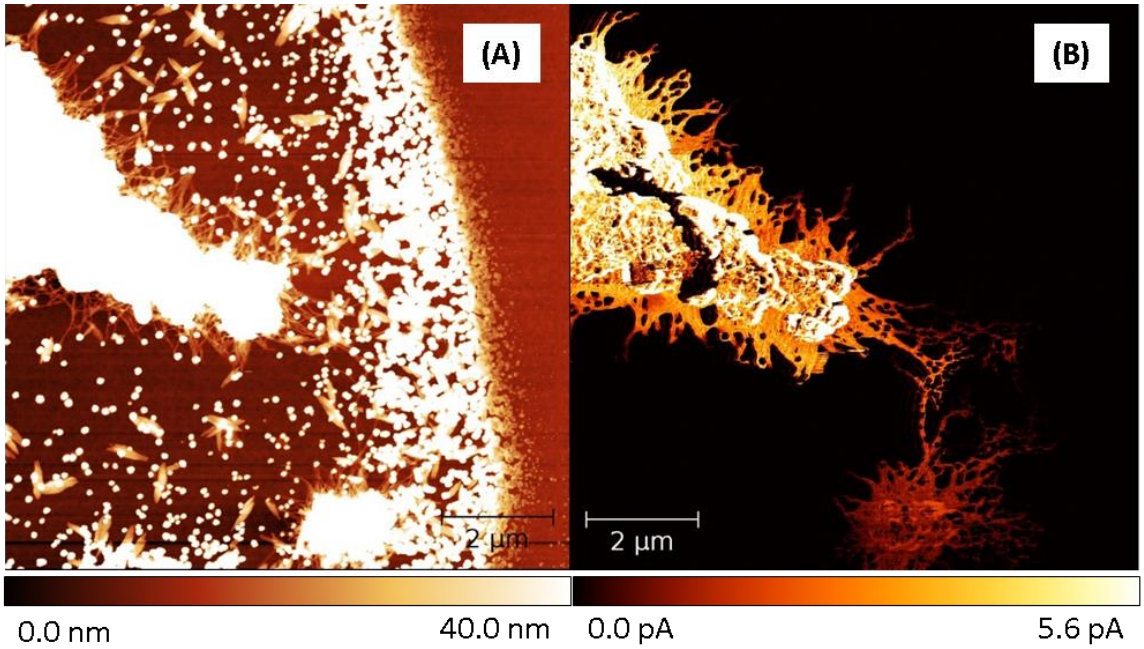


Figure 1 : Images C-AFM des hauteurs (A) et des courants (B) d'un mélange IF-MoS_2/P3HT. La pointe est couverte d'une couche de PtIr, et la tension appliquée à l'échantillon est de +3V.

Study of self-assembled films of fatty amines and derivatives compounds using *in situ* AFM

Toni Massoud [a], Rafael Pereira De Matos [a], Benoit Thiebaut [b], Sophie Loehle [b], Manuel Cobian [a], Clotilde Minfray [a], Franck Dahlem [a].

[a] *Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systèmes, Ecole Centrale de Lyon, France*

[b] *Centre de Recherche de Solaize, Département Lubrifiants, Total, France*

In the current context of the automotive industry, the control of friction in the engine and transmission components is a major issue. For this purpose, different families of friction modifiers are used, ranging from organometallic compounds such as molybdenum dithiocarbamate (MoDTC) to a wide variety of organic compounds (alcohol, acid, carboxylate, amine, amide, etc) commonly named "Organic Friction modifiers" (OFM). In literatures, the friction behavior of primary amines with alkyl chains containing 12 to 18 carbons demonstrates that these molecules are adsorbed a priori in smaller amounts on steel surfaces than equivalent fatty acids [1-3]. However, the nature of their interaction with the substrate is not clearly understood and little work has been done on more complex molecules like secondary or tertiary amines with various types and different number of functional groups (ethoxylated amines, salts, etc.).

The objective of the present research is to clarify the action mechanisms on friction behavior of different fatty amines molecules and related compounds on steel substrate. To achieve these aims, change of the friction coefficient in respect to the used amine molecules was investigated via tribometry measurements. In addition, *in situ* atomic force microscopy is used to study the morphology and properties of self-assembled films formed on mica, silicone and iron surfaces by amine molecules from base oil solution. The surface of samples was first imaged in base oil without amine molecules. Then the additives were introduced and the surface changes were identified by recording height and lateral force images.

[1] H. Spikes, *Friction Modifier additives*, Tribology Letters, **60,** 1-26 (2015).

[2] H. Spikes and A. Cameron, *Comparison of adsorption and boundary lubricant failure*, Proceedings of the Royal Society of London Series A, **336**, 447-419 (1974).

[3] H. Okabe, M. Masuko, K. Sakurai, *Dynamic Behavior of Surface-Adsorbed Molecules Under Boundary Lubrication*, ASLE Transactions, **24**, 467-473 (1980).

Caractérisations de cellules de mémoires résistives par AFM à pointe conductrice

Van Son Nguyen,[1] Van Huy Mai,[2] Alec Moradpour,[3] Pascale Auban Senzier,[3] Claude Pasquier,[3] Kang Wang,[3] Pierre-Antoine Albouy,[3] Marcelo J. Rozenberg,[3,4] John Giapintzakis,[5] Christian N. Mihailescu,[5] Charis M. Orfanidou,[5] Efthymios Svoukis,[5] Thomas Maroutian,[6] Philippe Lecoeur,[6] Guillaume Agnus,[6] Pascal Aubert,[6] Sylvain Franger,[7] Raphaël Salot,[8] Katia March,[3] Nathalie Brun,[3] David Alamarguy,[1] Pascal Chrétien[1] et Olivier Schneegans[1]

1 Lab. de Génie Élect. et Électronique de Paris, CNRS, Univ. Upmc et PSaclay, CentraleSupélec, Gif /Yvette, France
2 CEA, LIST, 91191, Gif Sur Yvette Cedex, France
3 Laboratoire de Physique des Solides, CNRS, Université Paris-Sud, Orsay, France
4 Dep. de Física Juan José Giambiagi, FCEN, Univ de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentine
5 Department of Mechanical & Manufacturing Engineering, University of Cyprus, Nicosia, Chypre
6 Institut d'Électronique Fondamentale, CNRS, Université Paris-Sud, Orsay, France
7 Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay, CNRS, Université Paris-Sud, Orsay, France
8 Liten-CEA de Grenoble, Grenoble, France

Des phénomènes de commutation résistive ont été observés dans des films minces de Li_xCoO_2, en utilisant des cellules micrométriques électrode/film/électrode [1]. Les résultats obtenus ont montré que ces dispositifs présentent typiquement deux états de résistance : R_{OFF} (qui correspond à la résistance de la cellule intacte), et R_{ON}, l'état de résistance la plus faible, avec un rapport R_{OFF}/R_{ON} pouvant atteindre 10^4. Plus récemment, la possibilité de moduler finement la résistance de ces cellules a également été démontrée [2]. Ces propriétés apparaissent très intéressantes pour l'applicabilité potentielle de ces matériaux dans le domaine des mémoires résistives non volatiles.

Actuellement, l'un des axes de recherche porte sur l'optimisation du nombre maximum de cycles de commutation réalisables (endurance). Dans ce but, la forme des impulsions appliquées entre les électrodes (valeur maximum de la tension et temps d'application) est cruciale. Une durée trop importante des impulsions conduit par exemple à une diminution de l'endurance. Ces résultats sont corrélés à l'apparition, au voisinage des électrodes, d'une modification des films, non décelable sur les images topographiques, mais bien observable sur les images électriques réalisées par microscopie AFM à pointe conductrice (Résiscope) (voir figure 1). Cette technique de caractérisation s'avère ainsi bien adaptée pour optimiser les conditions de commutation, et améliorer l'endurance des dispositifs.

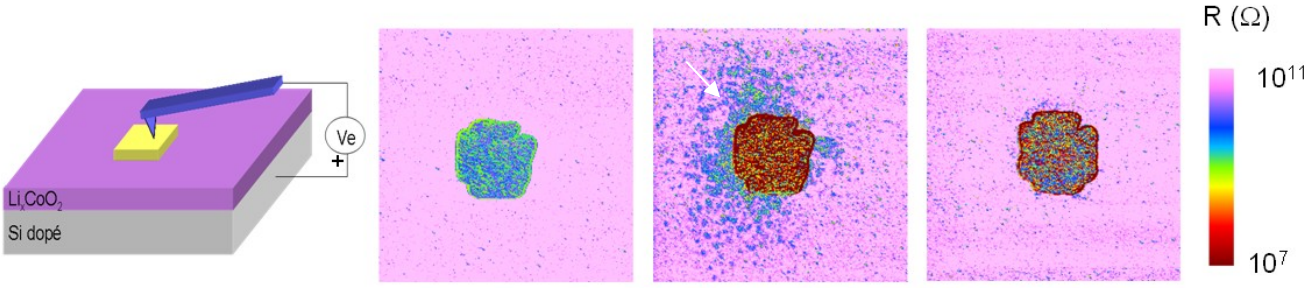


Figure 1 : (a) schéma d'une cellule Au/Li_xCoO_2/Si et du système pointe/levier conducteur de l'AFM ; images électriques (30x30 µm², Ve = +1V) : (b) d'une cellule initiale d'environ 5x5 µm² (c) de la même cellule après application d'une impulsion de -9V pendant 5s ; le film présente une modification visible (voir flèche blanche) (d) d'une cellule similaire après application d'une impulsion de -9V pendant 0.2s.

Références

[1] Moradpour, A et al, *Adv. Mater.*, **2011**, *23*, 4141
[2] Mai V.H. et al, *Sci. Rep.*, **2015**, *5*, 7761

Interdependence of adsorption site and charge distribution in a single donor-acceptor molecule adsorbed on an ionic crystal

Tobias MEIER[1], **Rémy PAWLAK[1]**, Shigeki KAWAI[1], Shi-Xia LIU[2], Yan GENG[2], Prokop HAPALA[3], Alexis BARATOFF[1], Silvio DECURTINS[2], Pavel JELINEK[3], Ernst MEYER[1] and Thilo GLATZEL[1]

[1]*Department of Physics, University of Basel, Klingelbergstr. 82, 4056 Basel, Switzerland*

[2]*Department of Chemistry and Biochemistry, University of Bern, Freiestr. 3, 3012 Bern, Switzerland*

[3]*Institute of Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic, v.v.i., Cukrovarnick 10, 162 00 Prague, Czech Republic*

Electron donor-acceptor molecules are promising candidates for molecular electronic devices since they may generate separated electron-hole pairs upon absorption of photons or rectify electrical currents as a function of the applied voltage. Relevant properties of such complexes do not only depend on their intrinsic donor-acceptor character, but can also be modified by their interaction with the underlying surface. We used TTF-dppz [1], a fused pi-conjugated donor-acceptor molecule, deposited on insulating NaCl films on Cu(111). To investigate the interplay between the atomic structures of TTF-dppz and NaCl, we performed high-resolution scanning tunneling (STM) and atomic force microscopy (AFM) measurements at 5 K. The charge distribution above individual molecules has been studied by local contact potential mapping using Kelvin Probe Force Spectroscopy [2,3]**.** We observed two different charge distributions which strongly depend on the adsorption site of the molecule. The results have been correlated with density functional theory calculations and model simulations of AFM with CO-decorated tips [4].

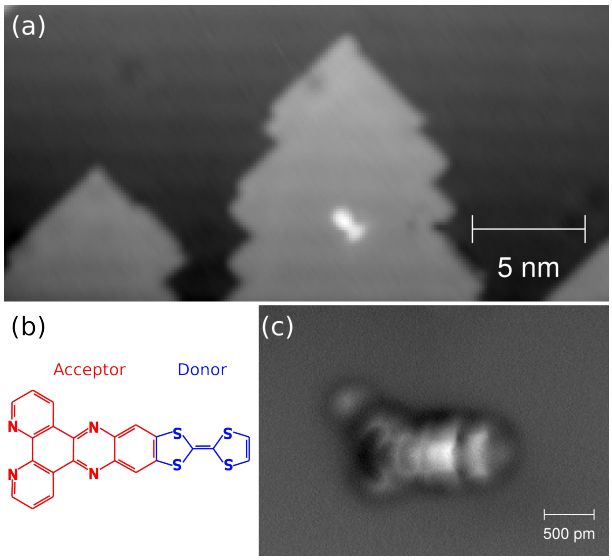


Figure 1 : (a) STM topographic image of a single TTF-dppz molecule on NaCl thin film deposited on Cu(111). (b) chemical structure of TTF-dppz. (c) constant height AFM image of TTF-dppz.

References

[1] C. Jia *et al.*, Chem. Eur. J. 13, 3804 (2007).
[2] S. Kawai *et al.*, ACS Nano 7, 9098 (2013).
[3] B. Schuler *et al.*, Nano Lett. 14, 3342 (2014).
[4] P. Hapala *et al.*, Phys. Rev. B 90, 085421 (2014).

Modification de l'état de charge local de porphyrines sur TiO2(110) induite par la présence de groupements hydroxyles

Rémy Pawlak[1], Ali Sadeghi[3], Res Jöhr[1], Antoine Hinaut[1], Tobias Meier[1], Shigeki Kawai[1], Lukasz Zajac[2], Piotr Olszowski[2], Simon Godlewski[2], Bartosz Such[2], Thilo Glatzel[1], Stephan Goedecker[1], Marek Szymonski[2], Ernst Meyer[1]

[1]*Department of Physics, University of Basel, Klingelbergstrasse 82, Basel 4056, Switzerland*

[2]*Department of Physics, Shahid Beheshti University, Evin, 19839 Teheran, Iran*

[3]*Instytut Fizyki, Jagellionan University, Reymonta 4, Krakow, PL 30-059*

L'interface entre la surface de titania (TiO2) et des molécules opto-actives est un facteur essentiel dans la composition de cellules solaires organiques et régit leur rendement final. L'optimisation de telles technologies passe donc par la compréhension des propriétés électroniques et structurales de ces interfaces à l'échelle fondamentale. Dans cette contribution [1], nous avons étudié à 77K par microscopie à effet tunnel (STM) et microscopie à force atomique (AFM) l'adsorption sur TiO2(110) de molécules de porphyrine équipées de groupements carboxyliques périphériques (Fig. 1a). Bien qu'une seule configuration d'adsorption soit adoptée par les molécules, deux types de contraste STM sont observés (Fig. 1b) et proviennent d'une différence locale de leurs états de charges (Fig. 1c). Cette modification est induite par la présence ou non de groupements hydroxyles (-OH) sous la structure moléculaire qui est ainsi découplée électroniquement de la surface et réduit le transfert de charge de la molécule vers le TiO2(110). Les mesures spectroscopiques de forces (sonde Kelvin) ainsi que les calculs numériques confirment que les molécules adsorbées sur les groupements -OH réduisent la quantité de charges positives de 60% par rapport à celle directement en contact avec le TiO2.

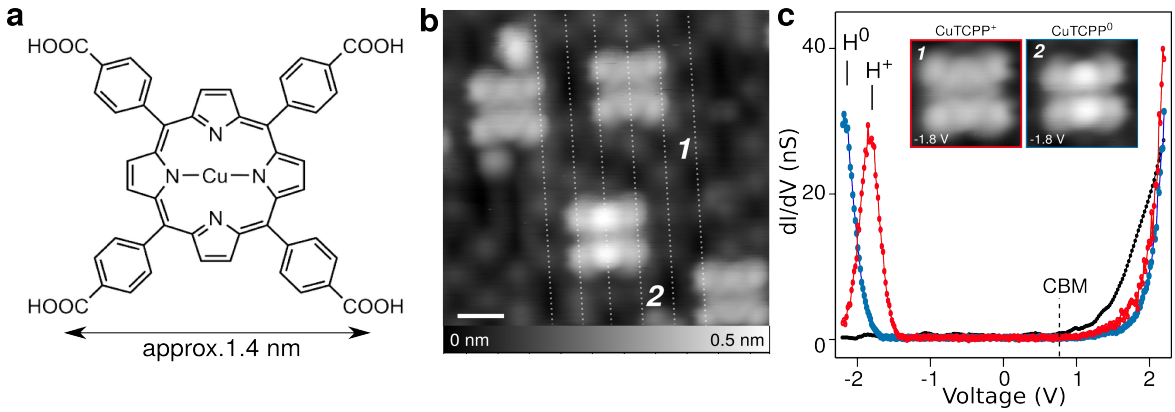


Figure 1 : (a) Structure moléculaire de la porphyrine équipée de groupements phényle-carboxyliques périphériques. (b) Image STM de l 'adsorption des porphyrines sur TiO2(110) révélant deux types de contraste. (b) Spectroscopie tunnel des deux configurations électroniques confirmant une variation de leur états de charge.

Références

[1] Pawlak, R., Sadeghi, A., Jöhr, R., Hinaut, A., Meier, T., Kawai, S., Zajac, L., Olszowski, P., Godlewski, S., Such, B., Glatzel, T., Goedecker, S., Szymonski, M., Meyer, E. Submitted.

Effects of mechanical stress on electronic properties of single III-Nitride nanowires

Lucas JALOUSTRE[1,2], Guilhem MANCHON[1,2], Simon LE DENMAT[1], Franck DAHLEM[2] and Rudeesun SONGMUANG[1]

[1] CNRS, Institut Néel, Nanophysique et Semiconducteurs group, F-38000, Grenoble, France
[2] Laboratoire de Tribologie et Dynamique des Systemes, UMR CNRS 5513, Ecole Centrale de Lyon, 36 avenue Guy de Collongue - 69134 Ecully Cedex France

Harvesting energies from the ambient of our daily lives and converting them into electricity has received an increasing interest nowadays. Since 2006, ZnO piezoelectric semiconductor nanowires (NWs) has been demonstrated as a promising building block for nanogenerator applications by scavenging the mechanical energy from very tiny vibrations in our environments [1]. The fundamental mechanism responsible for the operation of these nano-piezotronic devices must be thoroughly explored in order to improve their efficiency and/or create new functionalities.
Despite analogous piezoelectric properties to ZnO, there are fewer studies on III-Nitrides, an important material in mainstream optoelectronics, high-power electronics and sensorics. GaN has several superior features compared to ZnO, such as a much better p-type doping controllability, higher thermal stability, larger mechanical elasticity, and larger spectral response tunability from far-IR to deep-UV. In addition, it was claimed that the piezoelectric coefficient of GaN significantly increases in NW geometry, especially in the case of the NWs with small diameter [2].These properties could enable a much more flexibility to engineer nano-piezotronic characteristics. In the present work, catalyst-free III-Nitride NWs synthesized by plasma-assisted molecular beam epitaxy were studied via local probing techniques. We investigated the giant-piezoelectric effect in III-Nitride NWs by performing conventional and dual-frequency resonance-tracking piezoresponse force microscopies (PFM) on GaN thin films in comparison to single GaN NWs and III-N NW heterostructures. The piezoelectric coefficients were extracted from these measurements with a careful adjustment of the measurement parameters using PPLN and PPKTP as reference samples as well as avoiding misleading background signal and cross-talk artefacts. After this local characterization of piezoelectric properties, current generating function of these NWs was confirmed by locally applying mechanical force on the ensemble of vertical NWs via SPM scanning tip. Such an electrical-mechanical conversion was further studied on single contacted III-N NWs. These experimental results were qualitatively compared with finite-element simulation of mechanical-induced piezopotential and electronic band bending calculations.

[1] Wang, Z-L. and Song, J. *Science* **2006**, *312*
[2] Espinosa, H.D.; Bernal, R. A. and Minary-Jolandan, M. *Advanced Materials* **2012**, *24*, 4656

Nouveaux chromophores push-pull à base de thiophène : synthèse et monocouches auto-assemblées

Lionel PATRONE[1], Volodymyr MALYTSKYI[1,2], Jean-Jacques SIMON[1], Jean-Manuel RAIMUNDO[2]

1 IM2NP UMR CNRS 7334, Aix-Marseille Université, campus de St Jérôme, case 142, 13397 Marseille cedex 20, & ISEN-Toulon, Maison du Numérique et de l'Innovation, Place G. Pompidou, 83000 Toulon, France.
2 Aix-Marseille Université, CINaM UMR CNRS 7325, case 913, 13288 Marseille cedex 09, France.
lionel.patrone@im2np.fr ; v.malytskyi@gmail.com

Les chromophores organiques donneur-accepteur de type "push-pull" ont vu leur intérêt s'accroître au cours des dernières décennies en raison de leurs applications potentielles, par exemple en tant que nano-diélectriques auto-assemblés [1] ou pour le photovoltaïque (PV) [2]. Bien que le bon fonctionnement de dispositifs électro-optiques à base de ces chromophores nécessite leur dépôt en films organisés, leurs propriétés d'auto-assemblage sur surface n'ont pas été bien étudiées. Dans ce contexte, nous avons développé une synthèse multi-étape de nouvelles molécules push-pull portant un groupement thiol réactif permettant de former des monocouches auto-assemblées (SAM) sur or ou ITO. Combinant divers donneurs, accepteurs et espaceurs dans les chromophores push-pull synthétisés, nous montrons qu'il est possible de moduler les propriétés optiques et électroniques de ces chromophores, comme l'indiquent les analyses de voltampérométrie cyclique et de spectroscopie d'absorption UV-visible. En particulier, la position de la LUMO (orbitale moléculaire inoccupée de plus basse énergie) peut être contrôlée par le choix de l'accepteur. Les produits push-pull obtenus présentent une forte absorption de la lumière sur une grande plage spectrale (λ_{max} ~450 nm - 610 nm) et peuvent donc être appliqués efficacement aux dispositifs photovoltaïques. Les SAMs de ces chromophores ont été préparées sur or et ITO. La formation de SAM dense de ces chromophores non chargés est pour la première fois clairement démontrée par des analyses combinées de spectroscopie, ellipsométrie, électrochimie, et de microscopie à sonde locale (STM, AFM). En outre, la mise en évidence de la bonne qualité du film a été permise par les analyses STM. Sur Au(111) la formation de etch-pits caractéristiques du greffage des thiols sur Au et la réduction de la rugosité par un recuit sont révélées par les images STM (Fig. 1). Par ailleurs, les caractéristiques I-V mesurées par STM montrent un redressement à V>0 cohérent avec un alignement vertical des dipôles des chromophores push-pull (Fig. 1). Ces résultats sont compatibles avec une SAM organisée de chromophores push-pull orientés à peu près verticalement à la surface. Les mesures courant-tension I(V) ont aussi été corrélées avec succès à des mesures de spectroscopie UPS (mesure des états pleins) et IPES (mesure des états vides) qui ont permis de déterminer les positions respectives de la HOMO (orbitale moléculaire occupée de plus haute énergie) et de la LUMO des SAMs. Enfin, on a étudié la réalisation de multicouches alternant push-pull et nanoparticules d'or, ces dernières permettant également d'envisager une exaltation de l'excitation lumineuse par des effets plasmoniques. La cinétique de croissance des couches successives a été est suivie par voltampérométrie cyclique et par absorption UV-visible. Cette combinaison unique de propriétés fait de ces SAMs de push-pull un système de choix pour les applications dans la conversion de l'énergie photovoltaïque [3].

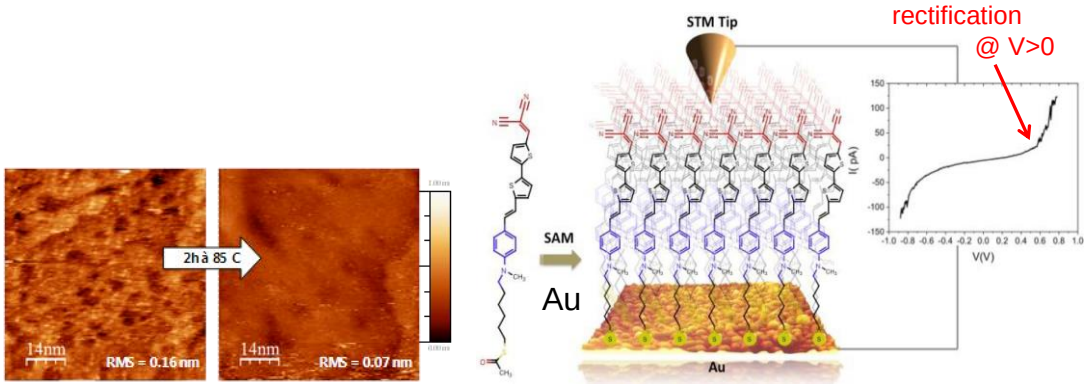


Figure 1 : Image STM de la SAM de push-pull sur Au(111) avant et après recuit (2h. à 85°C), et caractéristique I(V) typique mesurée sur la SAM par STM.

Références

[1] Wang L., Yoon M.-H., Lu G., Yang Y., Facchetti A., Mark T. J., *Nat. Mater.*,**2006**, *5*, 893
[2] Malytskyi V., Simon J.-J., Patrone L., Raimundo J.-M., *RSC Adv.* **2015**, *5*, 354
[3] Malytskyi V., Simon J.-J., Patrone L., Raimundo J.-M., *RSC Adv.***2015**, *5*, 26308

Formation d'un réseau moléculaire 3D sur surface de silicium par effet Template moléculaire

Younes MAKOUDI[1], Judicael JEANNOUTOT[1], Matthieu BEYER[1], Simon LAMARE[1], Frank PALMINO[1], Frédéric CHERIOUX[1].

1 Institut FEMTO-ST, CNRS, Université Bourgogne Franche-Comté, 15B Avenue des Montboucons, 25030 Besançon cedex.

La croissance des réseaux moléculaires périodiques 3D, sur des surfaces semi-conductrices est d'un intérêt crucial dans un objectif d'intégration de nano-composants dans les futures générations de dispositifs intelligents [1]. Les structures 3D sont difficilement générées par photolithographie et sont particulièrement couteuses. Nous avons réussi à former par un dépôt sous vide une bicouche moléculaire sur une surface de silicium dopée au Bore. Cette dernière a été obtenue en deux étapes :

1) Formation d'un réseau supramoléculaire 2D de nanolignes à grande échelle sur la surface de Si(111)-B par un dépôt sous ultra vide d'une molécule adaptée, la 1,4-bis(4'cyanophényle)-2,5-bis(décyloxy)benzène, notée CDB (figure1 a et b).

2) Croissance d'une deuxième couche de nanolignes 1D qui se développe au-dessus de la première par effet template de la première (figure1 c). Ces deux réseaux sont stables à température ambiante et ont été caractérisés par STM.

a) b) c)

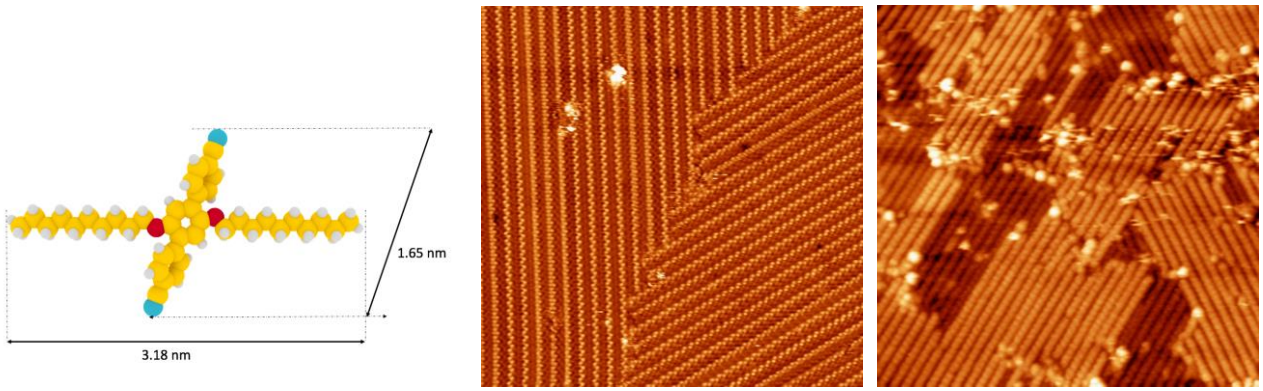


Figure 1 : **a)** 1,4-bis(4'cyanophényle)-2,5-bis(décyloxy)benzène (CDB) molécule **b)** Image STM de la monocouche de CSi(111) -B (40x40 nm^2, Vs = 3,6 V, It = 10 pA, 110K).**c)** Image STM de la bicouche de CDB/CDB / Si (111) -B (80x80 nm^2, Vs = 4 V, It = 10 pA, 110K).

Le réseau supramoléculaire 2D est commensurable avec la surface Si(111) -B et l'épitaxie est de type point sur point. Ce type d'épitaxie indique que l'interaction molécule-surface est plus forte que l'interaction molécule-molécule [2]. Cette dernière quant à elle, est dominée par le π-π stacking des groupements cyanophényle de deux molécules CDB consécutives dans la même nanoligne.

Références

[1] Li, J., Wieghold, S., Öner, M. A., Simon, P., Hauf, M. V., Margapoti, E., Esch, F., Palma, C.A. & Barth, J. V. *Nano letters. 2014*, *14,* 4486.
[2] Hooks, D. E., Fritz, T., Ward, M. D. *Adv. Mater.* 2001, *13*, 227.

Etude expérimentale et théorique de structures d'or intercalées sous graphène épitaxié sur SiC(0001)

Maya N. NAIR [1], **Marion CRANNEY** [1], Tao JIANG [2], Samar HAJJAR-GARREAU [1], Dominique AUBEL [1], Alban FLORENTIN [1], Emmanuel DENYS [1], François VONAU [1], Marie-Laure BOCQUET [2], Laurent SIMON [1]

[1] Institut de Sciences des Matériaux de Mulhouse, CNRS-UMR 7361, 3bis, rue A. Werner, 68093 Mulhouse, France.[2] Laboratoire P.A.S.T.E.U.R., CNRS-UMR 8640, 24, rue Lhomond, 75005 Paris, France.

Les études sur une monocouche de graphène épitaxié sur un substrat de SiC(0001) ont montré qu'il existe à l'interface entre ceux-ci une couche carbonée, appelée couche-tampon. Malgré cette couche, le substrat SiC altère les propriétés électroniques du graphène, avec une diminution de la vitesse de ses quasiparticules, et le dope (dopage de type n) [1]. Nous avons mis en évidence, lors de précédentes études [2, 3, 4], que le dépôt d'or sur du graphène épitaxié sur SiC(0001), suivi d'une procédure de recuit, induisait un dopage de type p du graphène. En effet, nous avons montré, par STM-STS et ARPES, que l'or s'intercalait sous la monocouche de graphène sous la forme de nouvelles structures complexes (soit une monocouche, soit des agrégats plats répartis de manière pseudopériodique) et écrantait le transfert de charge du substrat SiC vers la monocouche de graphène. Dans le cas d'une monocouche d'or intercalée, cet écrantage conduit à un dopage de type p du graphène épitaxié. Dans le cas d'agrégats d'or intercalés, cet écrantage est partiel et ne modifie pas le dopage intrinsèque du graphène. Par contre, la présence de ces agrégats induit une modification de la structure de bande du graphène épitaxié avec une forte extension des singularités de van Hove, une renormalisation des bandes au niveau du point de Dirac ainsi qu'une surprenante augmentation de la vitesse de Fermi des quasiparticules.

A l'aide de diverses méthodes de caractérisation expérimentales (STM, XPS, ARPES) couplées à de la modélisation DFT, nous sommes en mesure de clarifier la position d'intercalation des agrégats d'or, c'est-à-dire entre le graphène et la couche-tampon. Ces agrégats sont formés d'atomes individuels d'or, n'ayant de liaisons covalentes ni avec le graphène ni avec la couche-tampon (ils sont "freestanding"), et chargés négativement du fait de l'écrantage du transfert de charge du SiC vers le graphène. L'augmentation de la vitesse de Fermi des quasiparticules du graphène due à la présence de ces atomes d'or intercalés s'explique par un meilleur découplage du graphène de son substrat SiC. Ainsi, nous avons mis en évidence une nouvelle manière d'obtenir un graphène quasi-idéal sur un substrat de SiC(0001) [5].

Références

1. Emtsev K.V. *et al.*, *Phys. Rev. B* **2008**, *77*, 155303.
2. Premlal B. *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **2009**, *94*, 263115.
3. Cranney M. *et al.*, *EuroPhys. Lett.* **2010**, *91*, 66004.
4. Nair M.N. *et al.*, *Phys. Rev. B* **2012**, *85*, 245421.
5. Nair M.N. *et al.*, *en préparation*.

Formation de matière sur des surfaces imagées par AFM en mode intermittent : un artefact inattendu

Aymeric Vecchiola[1], Pascal Chrétien[2], Noëlle Gogneau[3], Karim Bouzehouane[1], Olivier Schneegans[2], **Frédéric Houzé[2]**

[1] Unité Mixte de Physique CNRS-Thales UMR 137, 1 avenue Augustin Fresnel, 91767 Palaiseau, France.
[2] Laboratoire de Génie électrique et électronique de Paris (GeePs), UMR 8507 CNRS-CentraleSupélec, Universités Paris-Sud et UPMC, Université Paris-Saclay, 11 rue Joliot-Curie, Plateau de Moulon, 91192 Gif-sur-Yvette, France.
[3] Laboratoire de Photonique et Nanostructures, CNRS, Université Paris-Saclay, route de Nozay, 91460 Marcoussis, France.

Les mesures de résistance électrique locale par AFM, longtemps opérées en mode contact où la pointe exerce en permanence une force sur l'échantillon, ont récemment été étendues à des modes intermittents dans lesquels la pointe vient à intervalles réguliers toucher très brièvement la surface, ceci dans le but de réduire l'altération de certains échantillons mous ou fragiles sous l'effet du balayage. Ainsi, nous avons dernièrement fait évoluer le module Résiscope[1] développé au laboratoire pour effectuer des mesures de résistance locale dans un mode de contact intermittent à basse fréquence, tout en conservant une large gamme de mesure[2]. À l'occasion de ces travaux s'est posée la question de l'optimisation des conditions expérimentales permettant d'obtenir un signal électrique de qualité. En mode contact, le recours à une augmentation de la force appliquée est souvent une réponse efficace qui permet de réduire la valeur de la résistance tout en améliorant sa stabilité. Dans le cas de notre mode intermittent, nous avons donc cherché à évaluer l'influence de la force maximale qui s'exerce fugitivement lors de chaque cycle, sur différents matériaux non susceptibles de pouvoir être endommagés. Il s'est avéré que pour certains d'entre eux – notamment des dépôts de platine et de titane sur silicium – l'usage de forces élevées conduit à une augmentation progressive de la résistance, accompagnée de la croissance d'une couche de matière sur la zone balayée (figure 1). L'observation a été répétée quel que soit le sens de polarisation et également en l'absence de polarisation, ce qui exclut une origine électrochimique. Ce phénomène intrigant a été exploré en soumettant les échantillons à des conditions d'imagerie de plus en plus extrêmes, combinant vitesse de scan très lente (jusqu'à 0.04ligne/s) et fréquence d'intermittence maximale (2kHz), et différents moyens d'analyse ont été mobilisés pour caractériser pointes et échantillons à l'issue de ces essais. Il est apparu que les pointes (revêtues de diamant dopé) sont finalement assez peu dégradées, tandis que les images MEB (figure 2) et les spectres EDX sur les zones balayées semblent indiquer une nature organique pour le dépôt côté échantillon. Ce résultat a été interprété comme la formation de polymère de friction sous l'effet des nano-glissements répétés associés à la déflexion du levier. Ce type de phénomène, dont l'origine n'est pas complètement élucidée, a déjà été rapporté pour des microswitches MEMS cyclés en endurance[3], donc dans un contexte assez similaire de géométrie et de cinématique du contact.

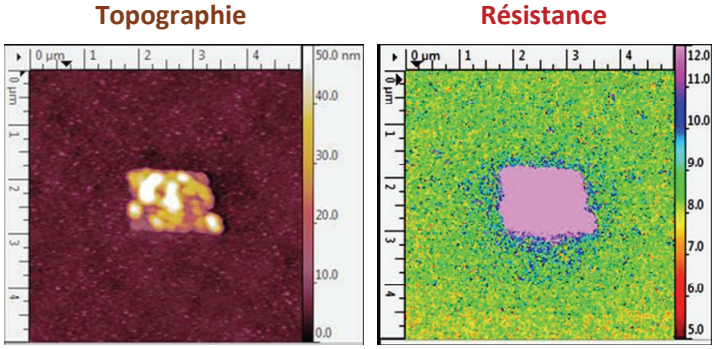


Figure 1: Images de topographie (à gauche) et de résistance électrique (à droite), mettant en évidence la présence d'une matière isolante sur la surface d'un échantillon de platine (ép. 100nm) sur silicium, dans certaines conditions d'imagerie par AFM en mode intermittent. La zone centrale de 1µm de côté a été balayée avec une force maximale de 200nN, à une fréquence d'intermittence de 2kHz, tandis que les images présentées, à champ élargi de 5µm, ont été réalisées avec une force de 50nN et une fréquence de 1kHz.

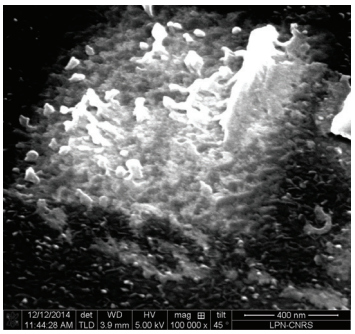


Figure 2: Image MEB d'une zone d'un échantillon de titane balayée en AFM intermittent sous des conditions particulièrement extrêmes (force 1.2µN, fréquence 2kHz, vitesse de scan 0.2l/s). Le grossissement est de 100000. La morphologie du dépôt suggère une nature organique, que semblent confirmer les mesures EDX.

Ces travaux ont été réalisés dans le cadre du projet ANR-2011-NANO-021 « MELAMIN » et d'une thèse CIFRE avec la société Concept Scientific Instruments.

Références :

[1] O. Schneegans, P. Chrétien, F. Houzé, Brevet WO-2011138738A1 (2011) ; EP-2567245A1 (2013).
[2] A. Vecchiola, Thèse de doctorat Univ. Paris-Sud, 29/04/2015.
[3] L. Chen, H. Lee, Z.J. Guo, N.E. McGruer, K.W. Gilbert, S. Mall, K.D. Leedy, G.G. Adams, *J. Appl. Phys.* **102** (7), 074910 (2007).

Effets de taille et de charge sur la toxicité induite par des nanoparticules de silice sur des bactéries *Escherichia coli* et *Bacillus subtilis*

Marion Mathelié-Guinlet[a,b], Laure Beven[c], Ibtissem Gammoudi[a,d], Fabien Moroté[a], Hassan Sadaoui[e], Marie-Hélène Delville[b], Daniel Moynet[e], Christine Grauby-Heywang[a], Touria Cohen-Bouhacina[a,d]

[a] LOMA, Université de Bordeaux, UMR CNRS 5798, 351 cours de la Libération, Talence, France
[b] ICMCB, 87 avenue du Dr Albert Schweitzer, Pessac, France
[c] INRA, UMR 1332 Biologie du Fruit et Pathologie, Villenave-d'Ornon,France
[d] Cellule de transfert NanoPhyNov, ADERA, LOMA, 351 cours de la Libération, Talence, France
[e] CRPP, 115 Avenue du Dr Albert Schweitzer, 33600 Pessac, France
[f] Université de Bordeaux, INSERM U1035, 146 rue Léo Saignat, Bordeaux, France

Malgré l'engouement croissant pour les nanotechnologies, les nanoparticules (NPs) présentent un danger potentiel, étant capables d'interagir avec des systèmes biologiques et d'en affecter le fonctionnement. Il est donc primordial de connaître les mécanismes d'interactions afin non seulement de prévenir les risques potentiels liés aux NPs mais également d'en tirer parti pour des applications, notamment biomédicales. Dans ce contexte, nous étudions par microscopie de force (AFM) les propriétés morphologiques et nanomécaniques de bactéries Gram$^-$, *Escherichia coli* (*E. coli*) et Gram$^+$, *Bacillus subtilis*, en présence (ou non) de NPs de silice, en nous intéressant principalement à l'effet de leur taille et charge.

E. coli est une bactérie de forme allongée, qui, observée à l'air, présente une séparation de phase au niveau de sa membrane externe (OM pour *outer membrane*) imputable à la présence de lipopolysaccharides (LPS) (fig 2a). De plus, à notre connaissance, nous mettons ici en exergue, pour la première fois, les propriétés mécaniques de cette OM. En effet, les images de phase, d'adhésion et d'élasticité confortées par les courbes de force suggèrent des structurations et natures différentes entre les zones LPS et la zone sous-jacente, imputée, elle, à la couche de peptidoglycanes (fig 2b). Ceci est confirmé par l'absence d'une telle organisation chez *Bacillus subtilis*, dépourvue d'une OM et donc de LPS et ne possédant qu'une riche couche de peptidoglycanes.

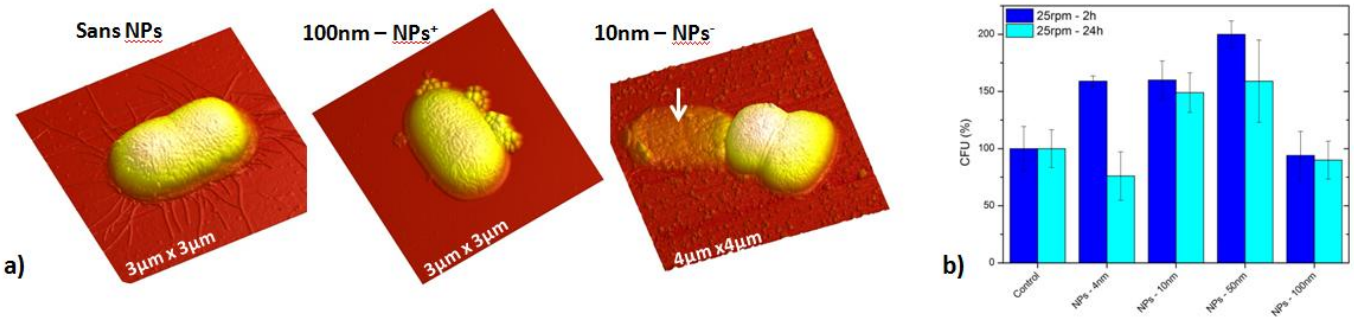


Figure 1: a) Morphology de *E. coli* sans et avec NPs. b) Toxicité taille-dépendante des NPs$^-$ vis-à-vis de *E. coli*.

En présence de NPs les tests de viabilité montrent un pouvoir bactéricide supérieur des NPs chargées positivement (NPs$^+$), comparé à celles chargées négativement (NPs$^-$), chez *E. coli*. Cette toxicité augmente avec la diminution du diamètre des NPs, en deçà d'un diamètre critique $\phi_c \leq 70$ nm (fig 1b). Du fait des interactions électrostatiques avec la OM de *E. coli*, chargée négativement, les NPs$^+$ s'agrègent de façon spécifique à la bactérie contrairement aux NPs$^-$(fig 1a). Malgré cela, ces dernières, en deçà de ϕ_c, occasionnent des dommages cellulaires. Les bactéries acquièrent une forme plus circulaire (fig 1a), cette modification s'accompagnant d'une désorganisation de la OM (fig 2a), associée parfois à de la lyse, et à des invaginations / protrusions de cette OM. De tels effets sont également observables avec les NPs$^+$ de 100 nm. Ces modifications sont attribuées à la réorganisation des LPS, rendue possible par leur comportement polymérique, face au stress engendré par la présence des NPs. Les NPs$^-$ d'un diamètre > ϕ_c laissent les bactéries intactes, en termes de morphologie et d'organisation membranaire (fig 1a et 2a).

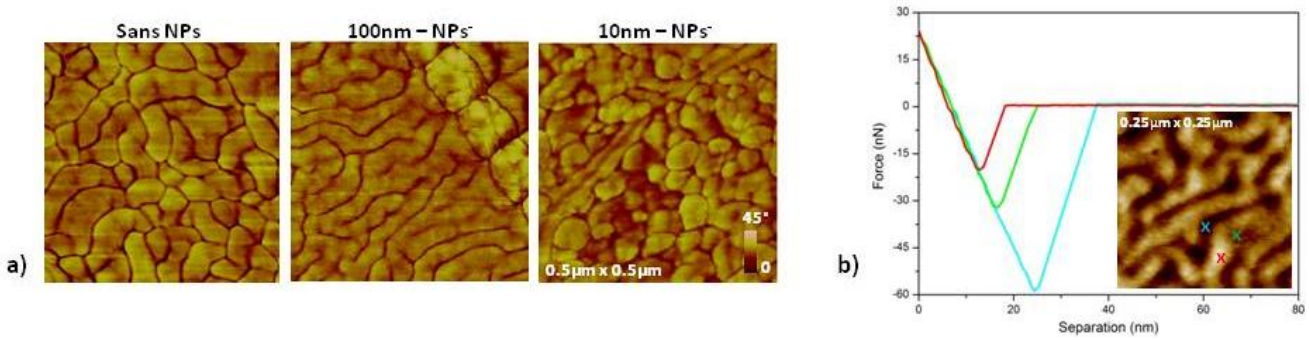


Figure 2: a) Images de phase (*tapping*) montrant la réorganisation des LPS de *E. coli* en présence de NPs. b) Mise en évidence des propriétés mécaniques (adhésion et raideur) de la OM de *E. coli* (courbes de force).

Pour conclure, nous avons montré que la diminution du diamètre des NPs et une charge surfacique positive favorisent l'action bactéricide des NPs de silice. Une étude similaire est menée sur des bactéries type Gram$^+$ (*Bacillus subtilis*) afin de déterminer le rôle de la OM dans l'activité antibactérienne des NPs.

Cristallisation de couches ultra-minces d'oligomères conjugués pour des applications du type Field Emission Transistor.

Jean-Luc BUBENDORFF[1], Sven RENKERT[1,2], Laurent SIMON[1], Günter REITER[2]

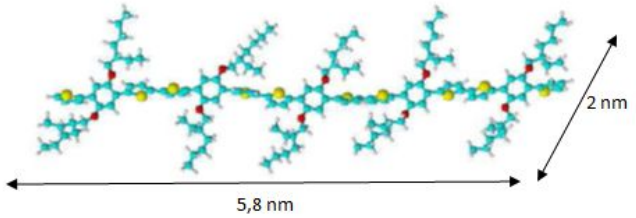
[1] *Université de Haute Alsace (UHA), Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M), UMR 7361 du CNRS, 3b rue Alfred Werner, 68093 Mulhouse, France.*
[2] *Physikalisches Institut, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., Hermann-Herderstraße 3, D-79104 Freiburg, Allemagne.*

L'électronique moléculaire constitue un domaine de recherche de plus en plus important. Utiliser des molécules en microélectronique pour réaliser un dispositif, permet de gagner en flexibilité et en coût par rapport à une structure épitaxiée obtenue sous UHV, mais nécessite de mieux contrôler l'assemblage des molécules pour garantir la fiabilité et la reproductibilité des caractéristiques physiques du dispositif. Pour réaliser une structure de type transistor à effet de champ, une approche presque « tout organique » où seule la prise de contact au niveau du canal reste métallique peut être envisagée. Dans ce cas-là, le canal serait constitué d'un assemblage de molécules conjuguées. Il est maintenant établi que la conduction des porteurs de charge (électron ou trou) se fait à l'interface entre le canal et le diélectrique de grille ce qui la rend extrêmement dépendante de la conformation des molécules à cette interface. Afin d'accroitre la mobilité des charge dans le canal, il devient nécessaire de réaliser une couche aussi parfaitement ordonnée (cristallisée) que les couches épitaxiales obtenues avec des matériaux inorganiques. Ceci est loin d'être le cas actuellement et constitue un véritable défi pour la communauté.

Nous avons étudié différentes méthodes de cristallisation de couches supramoléculaires de molécules conjuguées (2,5-dialkoxy-phenylene-thienylene based oligomer (5TBT), figure 1A). La colonne vertébrale de cette molécule est constituée d'un enchaînement de noyaux benzéniques et de thiophènes en relation de conjugaison. En fonction de l'organisation de l'assemblage supramoléculaire obtenue à partir de cette brique moléculaire 'élémentaire', nous pouvons donc obtenir une conductivité importante le long de la chaîne conjuguée [1] mais aussi suivant la direction perpendiculaire à l'axe de la molécule par un phénomène d'empilement du type π-π stacking [2], ce qui rend l'étude de cette molécule en couches minces particulièrement intéressante.

Nos premiers résultats d'imagerie par microscopie à force atomique (AFM) montrent que les molécules s'organisent en couches d'épaisseur fixe (~2nm) avec un nombre de couches et une morphologie contrôlés par la température de cristallisation. Un exemple de morphologie obtenue est donné sur la figure 1B. Dans ce cas-là, comme l'épaisseur de la couche moléculaire est comparable à la largeur de la chaîne moléculaire (voir figure 1A), il est plus que probable que la molécule soit en position 'debout' avec une direction d'empilement π-π parallèle à la surface du substrat. Ce type d'orientation favorise le transport de charge latéral ce qui devrait nous permettre de réaliser dans un futur proche des transistors FET à base de ces couches organiques 2D. Nous montrons également que cette structuration peut être modifiée par un recuit en présence de vapeur de solvant (solvent vapor annealing) ce qui nous permettra d'optimiser ces couches 2D pour des applications du type détecteur de molécules en phase gazeuse.

Des études en cours par STM et AFM en environnement UHV (Q-plus sensor) vont nous permettre de déterminer l'organisation des couches moléculaires et les interconnexions entre molécules ceci afin d'interpréter les propriétés de transports de charges déjà obtenues par conductive AFM (C-AFM).



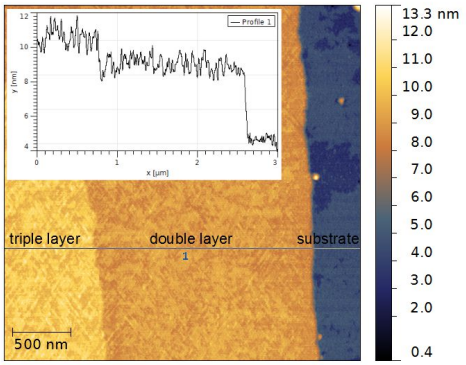


Figure 1 : A) Molécule de 5TBT.
B) Image topographique (AFM) d'une double et triple couches de molécules de 5TBT auto-assemblées sur la couche d'oxyde native d'un substrat de silicium orienté (111) et profil des hauteurs suivant la ligne 1 (voir insert).

[1] R Shokri, M Lacour, T Jarrosson, J Lère-porte, F Serein-spirau, K Miqueu, J Sotiropoulos, F Vonau, D Aubel, M Cranney, G Reiter, L Simon, *Generating long supramolecular pathways with a continuous density of states by physically linking conjugated molecules via their end groups*, J. Am. Chem. Soc. **135** (15) ,5693--5698 (2013)

[2] W Hourani, K Rahimi, I Botiz, F Koch, G Reiter, P Lienerth, T Heiser, J Bubendorff, L Simon, *Anisotropic charge transport in large single crystals of pi-conjugated organic molecules*, Nanoscale **6** (9) ,4774--4780 (2014)

Atomic structure determination of the (2×2) reconstructions of the polar AlN(0001) surface and atomic metallic deposition

Benoit EYDOUX[1], Bulent Baris[1], Florian CHAUMETON[1], Roberto ROBLES[2], Miguel PRUNEDA[2], Nicolás LORENTE[2,3], Sébastien GAUTHIER[1], Xavier BOUJU[1], David MARTROU[1]

1 NanoSciences Group, CEMES, CNRS UPR 8011, 29 rue J. Marvig, F-31055 Toulouse, France
2 ICN2 – Institut Catala de Nanosciencia i Nanotecnologia, Campus UAB, 08193 Bellatera (Barcelona), Spain
3 Centro de Física de Materiales CFM/MPC (CSIC-UPV/EHU), Paseo Manuel de Lardizabal 5, 20018 Donostia-San Sebastián, Spain, and Donostia International Physics Center (DIPC), Paseo Manuel de Lardizabal 4, 20018 Donostia-San Sebastián, Spain

Group-III nitride semiconductors are ideal candidates for high-power electronic applications. Among these materials, aluminium nitride (AlN) has the largest band gap. It also has unique properties such as small density, large stiffness, large piezoelectric constant, large fracture resistivity and chemical inertness. Unfortunately, defects and interface states seriously compromise devices based on these materials and there is an urgent need for high-quality interfaces and surfaces. For these reasons, its surface reconstructions have received a lot of attention theoretically. Furthermore, due to its high ionicity, AlN crystallizes in the wurtzite structure and its (0001) growth surface is polar, like other zinc blende (001) semiconductor surfaces. The consequence of this polarity is that the crystal should be stabilized by the apparition of surface charges that can be generated by different mechanisms like surface reconstructions. Experimentally, due to the large gap of AlN (6.2 eV) it is not possible to observe its surface by scanning tunneling microscopy (STM) except for the Al rich phase. One effective way to get information at the atomic scale is to use atomic-force microscopy in the non-contact mode (NC-AFM) under UHV.

The growth of AlN samples was carried out in a MBE chamber equipped with a RHEED gun working at 15 keV. The AlN layer is grown on a 4H-SiC(0001) substrate following a recipe described elsewhere [1]. With the help of density functional studies, we determine new protocols for growing the technologically interesting N-rich AlN surfaces. This is achieved by dosing the precursor gases at unusually low rates. The measured surface reconstructions are in good agreement with our calculated structures [2]. Our protocols permit us to access the surface based on one additional N atom in a (2×2) cell. These N-rich AlN surfaces could open new routes to dope AlN layers with important implications in high- power and temperature technological applications.

Additionally, we have studied the adsorption of metallic components with the perspective of fabrication of planar atomic nanopads on AlN. Examples with Mg, Ag, and Au metallic deposition will be shown both experimentally and theoretically.

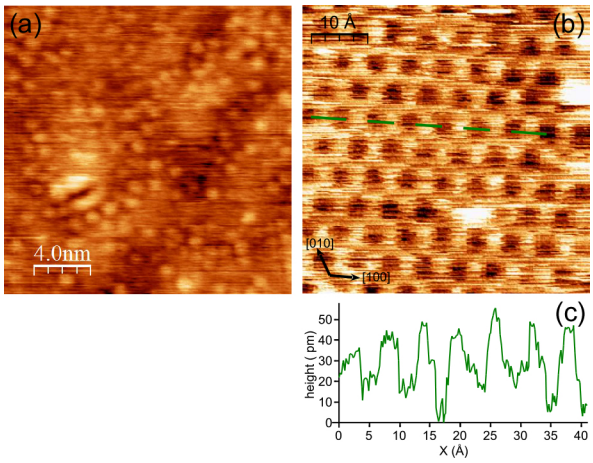


Figure 1 : NC-AFM topography image of AlN(0001) surface after growth of 200 nm thick sample at $T_{substrate}$ = 950°C, BEP_{NH3} = 10^{-5} Torr and a growth rate of 100 nm/h (a) and 5 nm thick at 10 nm/h (b). (c) Cross section along the dashed line in (b).

This work has been supported by the ICT-FET European Union Integrated projects *AtMol* (www.atmol.eu) and *PAMS* (www.pams-project.eu).

References

[1] Chaumeton, F.; Gauthier, S.; Martrou, D. *AIP Advances* **2015**, *5*, 067108.
[2] Chaumeton, F.; Robles, R.; Pruneda, M.; Lorente, N.; Eydoux, B.; Bouju, X.; Gauthier, S.; Martrou, D. *Physical Review Letters* **2016**, soumis.

FluidFM for (electrochemical) lithography

Tomaso ZAMBELLI, Luca HIRT, Raphael GRÜTER, János VÖRÖS

Laboratory for Biosensors and Bioelectronics, Institute for Biomedical Engineering, Gloriastrasse 35, ETH Zurich, CH-8092 Zürich, Switzerland

FluidFM [1] is a combination of AFM technology and nanofluidics. A channel incorporated directly in a hollow AFM cantilever and an aperture at the apex of the AFM tip allow for local dispensing of soluble molecules and nanoparticles in air and in liquid [2,3,4], while retaining the inherent imaging capabilities and force feedback of an AFM system. Therefore, FluidFM may open new opportunities for experiments of local chemistry with spatial resolution.

Micro- and nanometer-scale patterning of functional materials is of great interest in various fields such as microelectronics or micro-electromechanical systems (MEMS) design, but also for biosensing and biomedical applications, where manipulation techniques often have to be suitable for use in a liquid environment. In this context, we currently explore the use of FluidFM as a tool for both fabrication and subsequent imaging of microstructures in liquid using the same probe.

Here, hollow FluidFM cantilevers are used to locally dispense precursor molecules in a macro electrochemical cell. These molecules may thus be reduced on a polarized electrode surface, enabling local electrodeposition of various materials. In particular, we present conceptual results of local copper electroplating and electrografting of organic molecules via reduction of diazonium salts [5].

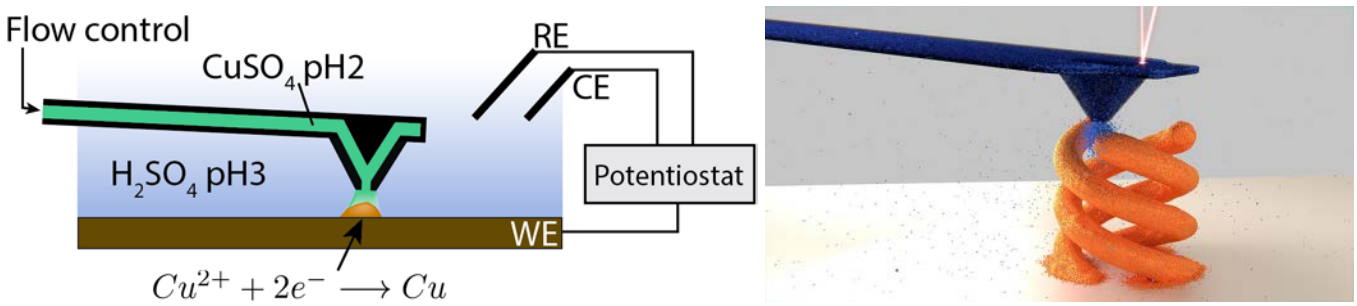


Figure 1 : left) Schematic of the setup. Hollow AFM probes are filled with a copper solution, enabling the electroplating and subsequent imaging of electrodeposited spots. Right) Voxel-by-voxel electrochemical metal 3D microprinting with force control.

As subsequent evolution [6], we have introduced a new single-step method for 3D metal printing using FluidFM probes. A key novelty of this approach is that the growth may be controlled in situ by observing the real-time deflection of the hollow cantilever. This is crucial to avoid clogging of the probe aperture (300 nm–1 µm diameter) and thus a significant advantage compared to traditional glass pipettes. Furthermore, it is not necessary to calibrate for parameters such as growth speed, as the growth control significantly facilitates automation. Finally, the immersion in a supporting electrolyte allows for the reliable voxel-wise printing on arbitrary positions without the limitations of methods based on meniscus formation. By combining all these advantages, electrochemical 3D metal printing is demonstrated in a true layer-by-layer fashion, enabling the fabrication of arbitrary shaped geometries. This is an advance in metal 3D printing on the micrometer scale, enabling a new range of printable shapes and structures.

Références

[1] Meister, A., et al. *Nano Lett.* **2009**, *9*, 2501
[2] Grüter, R., et al. *Nanoscale* **2013**, *5*, 1097
[3] Dermutz, H., et al. *Langmuir* **2014**, *30*, 7037
[4] Grüter, R., et al. *Nanotechnology* **2015**, *26*, 175301
[5] Hirt, L., et al. *RSC Adv.* **2015**, *5*, 84517
[6] Hirt L., et al. *Adv. Mat.* **2016**, DOI: 10.1002/adma.201504967

Excitation de plasmons de surface par microscope à effet tunnel : interaction avec des nanostructures 1D

Benoit ROGEZ[1], Eric LE MOAL[1], Gérald DUJARDIN[1], Rebecca HOREIS[2], Katharina AL-SHAMERY[2], Jean Luc DUVAIL[3], **Elizabeth BOER DUCHEMIN[1]**

[1]*Institut des Sciences Moléculaires d'Orsay (ISMO), Université Paris Sud, 91405 Orsay*
[2]*Institut für Chemie and Center of Interface Science, Universität Oldenburg, 26129 Oldenburg, Allemagne*
[3]*Institut des Matériaux Jean-Rouxel (IMN), 2 rue de la Houssinière, 44300 Nantes*

Les nanostructures plasmoniques sont des objets métalliques caractérisés en ce qu'au moins une de leurs dimensions est à l'échelle nanométrique (par ex., des nanoparticules, des nanofils, des couches minces, etc.) De telles structures peuvent être le siège de *plasmons de surface polaritons (SPP)*, c'est-à-dire des oscillations collectives des électrons à la surface d'un métal, couplées à une onde électromagnétique. Ces plasmons de surface font actuellement l'objet de très nombreuses études, car ils pourraient être amenés un jour à remplacer les électrons dans l'électronique et les photons dans la photonique, menant ainsi à des dispositifs *plasmoniques* qui seraient à la fois très rapide mais toujours de petite taille (< longueur d'onde).

Le plus souvent, les plasmons de surface polaritons sont excités par la lumière (par ex. : par un laser). Cependant, on peut créer des SPPs *électriquement* et *très localement* (~10 nm) en utilisant la jonction tunnel formée entre la pointe d'un microscope à effet tunnel (STM) et un échantillon métallique. Les plasmons de surface excités sont ensuite transformés en lumière, et ce sont ces photons qui sont détectés. Lorsqu'on parle « sonde locale » et « optique », il ne faut donc pas penser qu'au SNOM (microscopie à champ proche optique), mais aussi au STM [1].

Dans ce poster, nous présenterons nos résultats récents où nous avons étudié des structures 1D avec notre STM-nanosource de plasmons. En particulier nous avons utilisé le STM pour exciter des SPPs sur un nanofil d'or déposé sur un film d'or, créant ainsi une source directionnelle de plasmons de surface. Nous avons aussi démontré qu'avec cette technique nous pouvons coupler des SPPs excités électriquement à des modes d'un guide d'onde hybride formé d'un fil organique sur un film d'or [2].

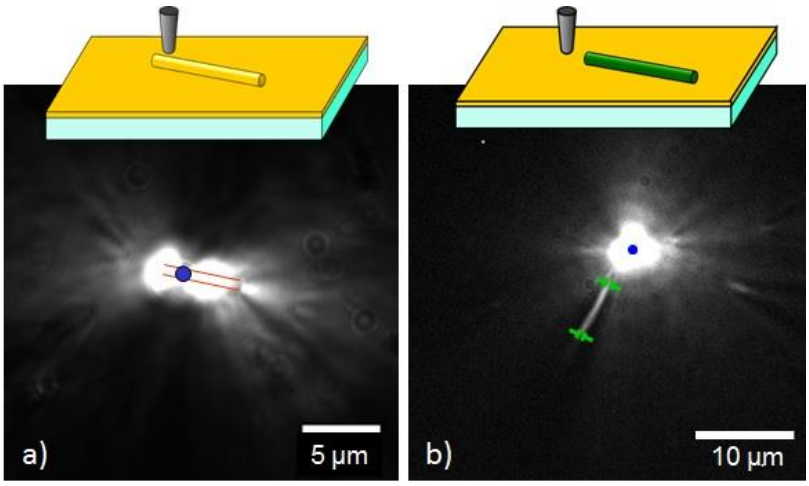


Figure 1 : a) SPPs excités par STM sur un nanofil d'or déposé sur un film d'or ; les plasmons de surface sur le fil excitent des SPPs sur le film, surtout dans la direction parallèle à l'axe du fil. Les lignes orange montrent l'emplacement du fil et le point bleu la position de la pointe STM. b) SPPs dans un guide d'onde hybride. Les SPPs sont excités sur le film d'or par STM et se couplent aux modes du guide d'onde formé d'un fil organique sur le film d'or. Les lignes vertes montrent le début et la fin du fil organique, le point bleu la position de la pointe STM. Ces images sont obtenues avec un microscope à fuites radiatives.

Références

[1]. Wang, T. et al. *Nanotechnology*, **2011**, *22*, 175201.
[2]. Rogez, B. et al. *J. Phys. Chem. C,* **2015**, *119*, 22217.

Specific Kondo physics in transition-metal phthalocyanines on surfaces

Rouzhaji TUERHONG, Jean-Pierre BUCHER

Université de Strasbourg, Equipe associée à l'Institut de Physique et Chimie des Matériaux, F-67034 Strasbourg, France

Transition-metal phthalocyanines (TMPc) constitute a well-known class of molecules used as a model system to study the interaction between metal-organic complexes and metal surfaces. Especially their Kondo behavior has been intensively investigated [1,2]. In this work, we studied the Kondo physics of two widely different molecules co-deposited on a Ag(111) substrate by means of the low-temperature scanning tunneling microscopy and spectroscopy. Figure 1(a) shows a large-scale STM image of MnPc and CuPc molecules adsorbed on terraces and monatomic steps of Ag(111). The two species can easily be distinguished by the different appearance of the central metal ion: MnPc molecules exhibit a pronounced protrusion at its central ion, while a small depression is observed for CuPc as shown in Figure 1(b).

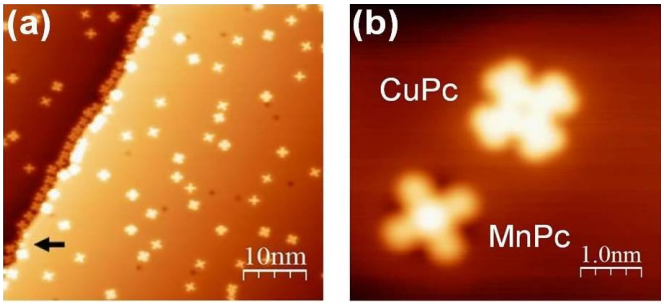


Figure1. (a) STM topographic image of MnPc and CuPc on Ag(111) at 5K. The black arrow showing few of the molecules adsorbed on Ag(111) monatomic step. (b) High spatial resolution STM image showing a bright protrusion in MnPc and a dark depression in CuPc centers, respectively.

The conductance spectrum (dI/dV) measured over the center of MnPc on Ag(111) exhibits a pronounced peak at the Fermi level. The observed peak is well fitted by the superposition of a Fano and a Gaussian function, representing respectively the Kondo resonance and a molecular orbital state. The Kondo effect in MnPc/Ag(111) originates from the coherent screening of the localized Mn d_{z^2} orbital and the associated Kondo temperature was determined to be T_K = (118 $\pm$ 10) K. On the contrary, the dI/dV spectra measured above the CuPc on Ag(111) do not show any feature at the Cu ion but instead CuPc adsorbed on Ag(111) monoatomic steps reveal an intense zero-bias peak on the Pc-lobe anchored at the upper terrace. Contrary to the previous case of MnPc this zero bias peaks is assigned to the Kondo resonance arising from the unpaired spin located in the π-orbital of CuPc [1] and corresponding Kondo temperature was determined to be T_K = (45 $\pm$ 5) K.

[1] A. Mugarza, R. Robles, C. Krull, R. Korytár, N. Lorente, and P. Gambardella, Phys. Rev. B 85, 155437 (2012).
[2] K. Jens, K. Michael, S. Jacob, H. Pin-Jui and S. Giorgio, B. Matthias, Nano Lett. 14, 3895 (2014) & Phys. Rev. B 91, 235130 (2015).

Détermination robuste de la conductance d'une molécule unique ?

H. KLEIN, M. GIL, M. IAZYKOV

CINAM UMR 7325, Campus de Luminy, 13288 Marseille cedex 9

Depuis plus d'une décennie, et après l'expérience géniale (mais à la méthodologie douteuse) de N. TAO [1], la détermination de la conductance d'une molécule organique connectée à des électrodes métalliques a fait l'objet de très nombreuses publications. Malgré quelques tentatives de W. Haiss [2], peu de méthodes originales de mesures ont été explorées. L'immense majorité des expériences sont réalisées en solution, en brisant de manière répétitive un contact métallique de section atomique. Les molécules libres pouvant alors connecter les électrodes formées pendant les quelques instants nécessaires à la mesure. Cette méthode donne des résultats, mais lors des mesures les molécules sont fortement contraintes, ce qui est peut-être à l'origine de la grande disparité dans les résultats reportés.

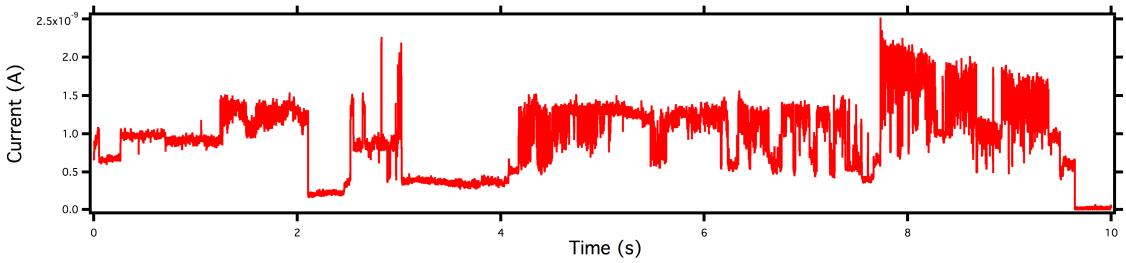


Figure 1 : Enregistrement de la fluctuation du courant traversant une jonction moléculaire d'octanedithiols. L'enregistrement d'une dizaine de secondes montre de nombreux évènements de connexions / déconnexions de molécules uniques. Ils apparaissent comme des sauts de courant.

Nous exposerons ici un protocole de mesure alternatif utilisant des électrodes relaxées dans une jonction brisée où la stabilité du contact est maintenue pendant plusieurs dizaines de secondes. Sur ces durées, la mesure des variations du courant relatives aux évènements de connexions / déconnexions des molécules, liées aux fluctuations thermiques et à la plasticité du contact, est possible. Elle permet de remonter à la conductance d'une molécule, tout en s'affranchissant du courant de fond.

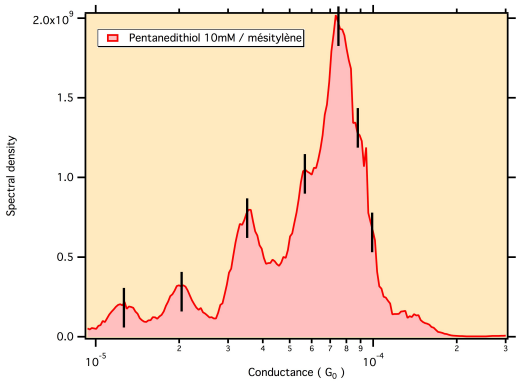


Figure 1 : Histogramme cumulé des conductances enregistré pour un contact d'or et des molécules de pentanedithiols. On y observe la succession de 7 valeurs probable de conductances multiples les unes des autres.

Les premiers résultats obtenus sur des molécules saturées et conjuguées sont encourageants : ils permettent l'observation des variations de conductance sur une échelle de 1 à une dizaine de molécules, et permettent de fournir une estimation robuste du « quantum » de conductance de la molécule étudiée.

Références

[1] B. XU, N.J. Tao, *Science*, **2003**, *301*, 1221
[2] W. HAISS et al , *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2004**, *6*, 4330

Croissance par voie électrochimique et propriétés magnétiques et topographiques de couches minces de Co sur Si(111)

Jean-Luc BUBENDORFF[1], Fayçal MECHEHOUD[1,2], Samar HAJJAR-GARREAU[1], Ahmed MEHDAOUI[1], Christian MENY[3], Abdelbacet KHELIL[2]

[1] *Université de Haute Alsace (UHA), Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M), UMR 7361 du CNRS, 3b rue Alfred Werner, 68093 Mulhouse, France.*
[2] *Université d'Oran I Ahmed Benbella, Laboratoire de Physique des Couches Minces et Matériaux pour l'Electronique (LPC2ME), BP 1524, El M'Naouer, 31000 Oran, Algérie.*
[3] *Université de Strasbourg, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg (IPCMS), UMR 7504 du CNRS, Département Magnétisme des Objets NanoStructurés (DMONS), 23 rue du Loess, 67034 Strasbourg cedex2, France.*

Le magnétisme des couches ultra-minces et des multicouches est un domaine de recherche très actif en interaction permanente avec le monde industriel à travers des applications en matière de stockage de l'information. Les progrès réalisés jusqu'à maintenant dans la compréhension de ses systèmes viennent essentiellement d'un meilleur contrôle des modes de croissance à travers des études détaillées de la corrélation entre la structure des couches et leurs propriétés magnétiques, principalement dans un environnement sous Ultra-Haut-Vide (UHV). Nous nous intéressons au dépôt électrochimique sur substrat semi-conducteur essentiellement sur Si. L'objectif comme pour les dépôts d'éléments magnétiques sur substrat métallique est, soit de réaliser des nanostructures (nanofils, plot avec rapport hauteur/largeur bien contrôlé, nano-particules organisées, …), soit des couches ultra-minces aux applications potentielles en électronique de spin (jonction Schottky métal/semiconducteur, aimantation perpendiculaire, magnéto-résistance géante pour des multicouches, …).

Compte-tenu du grand nombre de paramètres modifiables en électrochimie, nous avons optimisé les conditions de préparation (bain, concentration, choix du substrat (dopage, résistance), pH, chronoampérométrie à un potentiel fixé, …) afin d'obtenir des films minces de matériau ferromagnétique de Co sur substrat semi-conducteur de n-Si(111), puis caractérisé les propriétés magnétiques des dépôts obtenues par Résonance Magnétique Nucléaire (RMN), SQUID et magnétométrie par effet Kerr. Notre travail montre que la voie électrochimique a l'avantage par rapport à l'épitaxie par jets moléculaires de contrôler de manière plus univoque la relation structure-propriété par le potentiel appliqué.

A l'aide de la voltampérométrie cyclique et du Microscope à Force Atomique (AFM), nous avons étudié les différents stades de la croissance et avons ainsi pu comprendre l'influence du potentiel appliqué et du substrat sur la croissance de nos couches. Nous avons ainsi montré qu'à des surtensions faibles, le mode de nucléation et de croissance est un mélange de nucléation instantané et progressive suivant les modèles de Schariffker-Hills. Lorsque la surtension augmente, la part de nucléation progressive augmente dans le processus global pour devenir le processus dominant ce qui conduit à des morphologies du dépôt différentes, analysées par AFM. Nous avons ensuite effectué une étude de la croissance et de la relation morphologie-propriétés magnétiques d'un dépôt de Co en fonction de son épaisseur à un potentiel fixé de -1.7V/SCE. La croissance suit des lois d'échelle. L'aimantation est dans le plan et isotrope. Quelques essais en mode galvanostatique, qui aurait l'avantage de permettre un parfait contrôle de l'épaisseur de Co déposé, montrent clairement que cette voie d'électrodéposition ne permet pas de contrôler le mode de croissance du Co, celui-ci étant vraiment sous le contrôle du potentiel qui fluctue lors de ce type d'expérience. Par contre, ce mode conduit à la formation de cristaux de Co présentant un début de formation de domaines magnétiques qui ont été étudiés par Microscopie à Force Magnétique (MFM).

Désirant développer le mode potentiostatique de dépôt pulsé, nous avons également effectué une étude très critique des techniques de dépôt/arrachage employées dans la littérature montrant que celles-ci sont inadaptées au substrat semi-conducteur. Notre but était de comprendre le mécanisme conduisant au maintien d'un dépôt en surface suite à des cycles de dépôt/dissolution communément employés dans la littérature et comme nous le montrons dans ce travail à mauvais escient. En effet, cette méthode conduit à la formation d'une couche d'hydroxyde de Co en surface (XPS) ce qui conduit en-dessous d'une certaine épaisseur à la perte des propriétés magnétiques du dépôt de Co (SQUID).

Notre travail a montré l'influence déterminante du potentiel et de la structure cristalline de l'électrode-substrat employée et devrait ouvrir la voie à une meilleure maîtrise de la reproductibilité des dépôts métalliques sur substrat semi-conducteur sous contrôle potentiostatique.

Contact Resonance AFM in Air and Liquid Using blueDrive™ Photothermal Actuation

A. Awizio, Mannheim/DE, M. Kocun, A. Labuda, R. Proksch, Santa Barbara/USA

Dr. Ann-Katrin Awizio, Asylum Research, an Oxford Instruments Company, Hauptstr. 161, 68259 Mannheim, Germany.

Measurement of properties beyond simple topography has been an ongoing and active area of Atomic Force Microscopy (AFM) research. The sample stiffness and the elastic modulus are quantities of considerable interest, since they can greatly vary over very short length scales. Contact Resonance Force Microscopy (CRFM) is a leading AFM technique for measuring the elastic properties, especially on stiffer materials [1-4].
In CRFM, vibrational resonances of the AFM cantilever are excited while the tip is in contact with the sample. The CRFM frequency is measured during scanning, and the measured frequencies are used to determine a map of elastic modulus. Recently, CR force microscopy has been extended to measure viscoelastic properties of materials where the frequency and quality factor Q of the contact resonance spectrum are used to derive storage and loss moduli of the material under investigation [5-7].
Previously, unlike many other AFM techniques, CRFM measurements have been limited to imaging in air, since the "forest of peaks" associated with acoustic excitation methods effectively masks the true cantilever resonance. Using a new blueDriveTM photothermal excitation module, we have been able to produce clean contact resonance spectra that closely match the Brownian spectra, allowing unambiguous and simple resonant frequency and quality factor measurements. Both stiff metals and softer more compliant polymer materials were successfully imaged and analyzed.

Literature:

[1] Rabe, U.; Arnold, W. Applied Physics Letters (1994), 64, 1493.
[2] Yamanaka, K.; Ogiso, H.; Kolosv, O. V. Applied Physics Letters (1994), 64, 178.
[3] Hurley, D. C.; Shen, K.; Jennett, N. M.; Turner, J. A. Journal of Applied Physics (2003), 94, 2347.
[4] Hurley, D. C. Applied Scanning Probe Methods Vol. XI; Bhushan, B., Fuchs, H., Eds.; Springer-Verlag, 2009; pp 97-138.
[5] Yuya, P. A.; D.C.Hurley; Turner, J. A. Journal of Applied Physics (2008), 104, 074916
[6] Killgore, J. P.; Yablon, D. G.; Tsou, A. H.; Gannepalli, A.; Yuya, P. A.; Turner, J. A.; Proksch, R.; Hurley, D. C. Langmuir (2011), 27, 13983.
[7] Gannepalli, A.; Yablon, D. G.; Tsou, A. H.; Proksch, R.Nanotechnology (2011), 22, 355705.

AFM STUDY OF GRAPHENE INTRACTION WITH SIO_2 SURFACE

Vincent Parat[3], Damiano Cassese[1], Marco Lazzarino[2], Marino Marson[1], Roberto Schiabel[1], Stefano Roddaro[2] and Stefano Prato[1]

[1] *A.P.E. Research, BioNanolab, Area Science Park, Trieste, Italy*

[2] *Istituto Officina dei Materiali CNR, Laboratorio TASC, Basovizza (TS), Italy*

[3] *LovaLite, 7 rue Xavier Marmier 25000 Besançon, France*

AFM based techniques provide a rich tool for characterization of local properties of 2D crystals like graphene. Possible anomalies in height determination in this system are known and care needs to be taken in setting the experimental parameters [1]. We are demonstrating an approach of combining several methods, including phase contrast, topography in contact and non-contact mode, friction and electric force imaging to understand interactions between the substrate and graphene and between graphene layers. Graphene was prepared by micromechanical exfoliation to the Si substrate covered with 290-300 nm of SiO_2. Optical contrast was used to determine quickly the graphene thickness which was further confirmed by micro-Raman spectroscopy. We present a study of graphene partially unfolded from the substrate. Due to relatively rough SiO2 surface and possible leftovers from the unfolded graphene, it cannot be reliably distinguished between monolayer and double layer or monolayer and substrate only from topography images. Friction image is used to show clearly a contrast between the graphene and the substrate. Additional information is gained from the phase imaging. In electric force microscopy voltage dependent height of single steps is discussed. Having in mind the height anomalies induced by the electric field, electric force microscopy most reliably reveals the contrast between single and double layer graphene. Understanding the topographic contributions to the image, mixed with contribution of the interaction between the layers and with SiO_2 surface can thus only be understood using a combination of several AFM based methods.

Keywords: AFM, EFM, graphene, SiO_2.

References

[1] P. Nemes-Incze, Z. Osváth , K. Kamarás , L.P. Biró, *Carbon Volume 46*, Issue 11, 2008, 1435–1442

Improved Method for Probing Resistivity and Doping Concentration of Semiconductors at the Nanoscale Using Scanning Microwave Microscopy (SMM)

Enrico Brinciotti [A], Georg Gramse [B], Matthias A. Fenner [C], Ferry Kienberger [A]

[A] *Keysight Technologies Austria GmbH, Keysight Labs, Gruberstrasse 40, 4020 Linz, Austria*
[B] *Johannes Kepler University, Biophysics Institute, Gruberstrasse 40, 4020 Linz, Austria*
[C] *Keysight Technologies Deutschland GmbH, Lyoner Strasse 20, 60528 Frankfurt, Germany*

We describe an improved method using a combination of AFM and local microwave measurement (SMM) for a quantitative determination of resistivity and doping concentration of semiconductor materials on a nanometer scale. The microwave reflection signal (S11) is converted into calibrated resistance and capacitance data via a three error parameters workflow which does not require a calibration step on a known dopant standard sample [1]. By means of an analytical model for the junction of AFM tip and semiconductor the resistance can be converted into resistivity and dopant density data. The method was applied on a silicon sample with p and n doped implant regions and yields a good quantitative agreement with the data-sheet values.

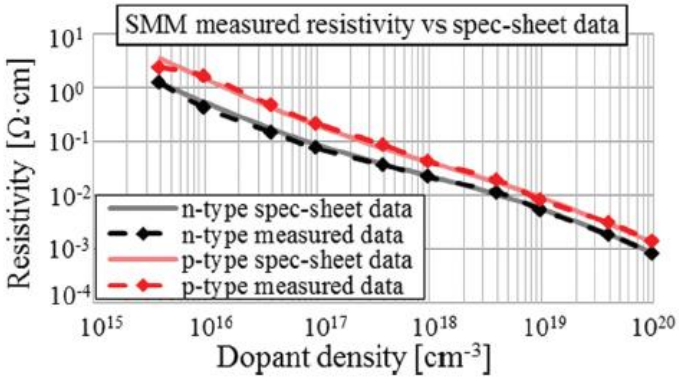


Figure 1 : Comparison of of measured resistivities to data sheet values for doped silicon.

Références

[1] Calibrated complex impedance and permittivity measurements with scanning microwave microscopy, Gramse et al. ,2014, Nanotechnology 25 (2014) 145703

Imagerie haute résolution avec le mode Peak Force Tapping

Mickael FEBVRE, Samuel Lesko, Bede Pittenger

Bruker Nano Surface
7 rue de la croix Martre 91120 Palaiseau
Mickael.febvre@bruker.com

Depuis son invention, la Microscopie à Force Atomique (AFM) a permis d'acquérir des images à l'échelle nanométrique. Cependant ces images montrent généralement la structure atomique dans le cristal sans révéler des défauts individuel. Les images obtenues sous vide et plus récemment certaines, obtenues en liquide font toutefois exception à cette règle. Afin d'obtenir cette résolution ultime, les chercheurs sont confrontés à de nombreux challenges. Ainsi, la facilité d'utilisation, la stabilité de la mesure ou encore l'influence de la pointe sont des compromis nécessaires à l'obtention de telle résolution. Nous présentons ici une approche qui utilise le mode Peak Force Tapping avec un contrôle drastique de la distance pointe échantillon. Ainsi ces dernières années, de nombreuses expériences ont montré la possibilité d'obtenir des images de résolution atomiques révélant les défauts de structure en liquide et même à l'air, sur des matériaux dures (Mica, calcite) ou encore une résolution sub-moléculaire sur des surfaces organisée molles (couche SAM, IPMMA, ADN), ce en utilisant des leviers, des pointes et une détection optique standard. La mesure instantanée de la force en mode Peak Force Tapping permet cela de manière inédite et absolument unique.

En sus de la topographie, ce mode permet de visualiser les interactions force / distance entre la pointe et l'échantillon rendant alors possible l'identification précise d'une zone ou une interaction a eu lieu, et ce à l'échelle atomique [1].

Après un rappel théorique sur les conditions propices à la résolution atomique, nous présenterons le fonctionnement et les résultats issus du mode Peak Force Tapping pour des études en haute résolution.

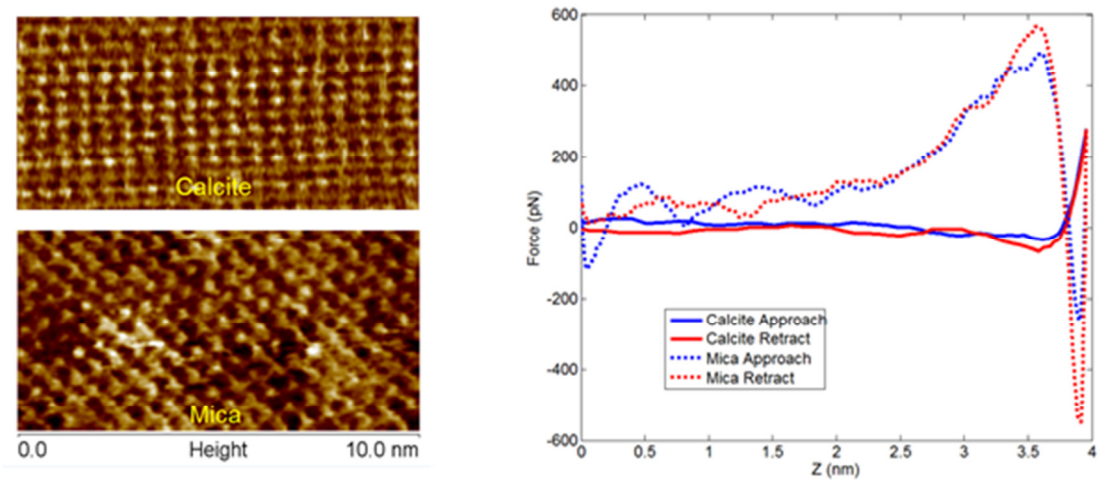


Figure 1 : Courbes de Force-distance de 2 matériaux différents (mica et calcite) collectées en mode Peak Force et images de topographie en haute résolution.

Références

[1] Rico, F.; Su, C.; Scheuring, S. *Nano Letters* **2011**, *11* (9), pp3983-3986

Liste des participants

ALBERTINI David, INL CNRS 5270
david.albertini@insa-lyon.fr
BACHELOT Renaud, UTT/ICD-LNIO
renaud.bachelot@utt.fr
BARBATTINI Rafaël, Asylum Research an Oxford Instruments Company
rafael.barbattini@oxinst.com
BAYCELLEBI Levent, Axess Tech SARL
info@axesstech.fr
BEAUMALE Jérôme, Bruker
jerome.beaumale@bruker.com
BELLON Ludovic, Laboratoire de Physique, ENS Lyon et CNRS
ludovic.bellon@ens-lyon.fr
BELTRAN-MADRIGAL Josslyn, UTT
josslyn.beltran_madrigal@utt.fr
BERTHE Maxime, IEMN CNRS UMR 8520
maxime.berthe@isen.fr
BESGA Benjamin, Institut Néel CNRS
benjamin.besga@neel.cnrs.fr
BIJEON Jean-Louis, UTT/ICD-LNIO
bijeon@utt.fr
BLACHON Florence, ILM, Université Lyon 1
florence.blachon@univ-lyon1.fr
BOER-DUCHEMIN Elizabeth, ISMO
elizabeth.boer-duchemin@u-psud.fr
BOROWIAK Alexis, LSPM Université Paris 13
alexis.borowiak@live.fr
BOUJU Xavier, CEMES-CNRS
xavier.bouju@cemes.fr
BOUZEHOUANE Karim, CNRS
karim.bouzehouane@thalesgroup.com
BRESSON Bruno, SIMM, ESPCI, CNRS, UPMC
bruno.bresson@espci.fr
BUBENDORFF Jean-Luc, IS2M CNRS 7631, UHA
jean-luc.bubendorff@uha.fr
BUCHER Jean-Pierre, IPCMS Unistra
jean-pierre.bucher@ipcms.unistra.fr
CALUPITAN Patrick, CEMES-CNRS
patrick.calupitan@cemes.fr
CANERO-INFANTE Ingrid, Centrale Supélec
ingrid.canero-infante@centralesupelec.fr
CARPENTIER Simon, Institut Néel CNRS
simon.carpentier@grenoble.cnrs.fr
CHRETIEN Pascal, Centrale Supélec, GeePS
pascal.chretien@geeps.centralesupelec.fr

COQ GERMANICUS Rosine, CRISMAT LaMIPS, ENSICAEN
rosine.germanicus@unicaen.fr
CRANNEY Marion, IS2M CNRS 7631, UHA
marion.cranney@uha.fr
DAHLEM Franck, LTDS/ECL
franck.dahlem@ec-lyon.fr
DAHMANI Brahim, LOVALITE SAS
dahmanib@lovalite.com
DAVID Pascal, CNRS Paris B
anne.debernardinis@dr2.cnrs.fr
DARGAUD Valentin, Axess Tech SARL
info@axesstech.fr
DEMONCHAUX Thomas, ISGN Lille
thomas.demonchaux@gmail.com
DRESMES Dominique, IEMN CNRS UMR 8520
dominique.deresmes@iemn.univ-lille1.fr
DROUET Michel, Institut Pprime UPR3346
michel.drouet@univ-poitiers.fr
ERVIN Mile, Keysight technologies
ervin.mile@keysight.com
EYDOUX Benoit, CNRS/CEMES
benoit.eydoux@cemes.fr
FALGAYRETTES Pascale, IES, Université de Montpelier
pascal.falgayrettes@ies.univ-montp2.fr
FEBVRE Mickael, Bruker
mickael.febvre@bruker.com
FENNER Matthias, Keysight technologies
matthias.fenner@keysight.com
FIORINI-DEBUISSCHERT Céline, CEA Saclay
celine.fiorini@cea.fr
FREUND Sara, University of Basel, Department of Physics
sara.freund@unibas.ch
GALL-BORRUT Pascale, IES, Université de Montpelier
pascale.gall-borrut@ies.univ-montp2.fr
GAUTIER Brice, INSA Lyon / INL
brice.gautier@insa-lyon.fr
GEORGE Matthieu, L2C/UM
mgeorge@univ-montp2.fr
GILLMANN Gilbert, NanoAndMore France SARL
sales@nanoandmore.fr
GRANET Julien, Université de Lorraine, IJL
julien.granet@univ-lorraine.fr
GRESILLON Samuel, Institut Langevin CNRS UMR 7587
samuel.gresillon@espci.fr
GROSJEAN Thierry, FEMTO-ST, UFC
thierry.grosjean@univ-fcomte.fr
GRYSAN Patrick, LIST-MRT
patrick.grysan@list.lu

HASCHKE Heiko, JPK Instruments AES
confregis@jpk.com
HINAUT Antoine, University of Basel
antoine.hinaut@unibas.ch
HOFF Brice, Axess Tech SARL
info@axesstech.fr
HOLMES Ben, JPK Instruments AES
confregis@jpk.com
HOUZE Frédéric, Centrale Supélec, GeePS
frederic.houze@geeps.centralesupelec.fr
JALOUSTRE Lucas, Ecole Centrale de Lyon, Institut Néel CNRS
lucas.jaloustre@neel.cnrs.fr
KASSA Haïlu Gebru, Université de Mons, LCNM
hailugebru.kassa@umons.ac.be
KLEIN Hubert, CINAM CNRS UMR 7325
klein@cinam.univ-mrs.fr
LAGRAVE Xavier, HORIBA Jobin Yvon SAS
xavier.lagrave@horiba.com
LE CUNUDER Anne, ENS de Lyon, Laboratoire de Physique
anne.le-cunuder@ens-lyon.fr
LE DENMAT Simon, Ecole Centrale de Lyon, Institut Néel CNRS
simon.le-denmat@neel.cnrs.fr
LECLERE Philippe, Université de Mons (UMONS)
philippe.leclere@umons.ac.be
LEONI Thomas, CINAM CNRS UMR 7325
leoni@cinam.univ-mrs.fr
LEPLEUX Emmanuel, ScienTec
e.lepleux@scientec.fr
LETERTRE Laurie, Université de Mons (UMONS)
laurie.letertre@umons.ac.be
LOEVE Sacha, COSTECH / RECITS
loevesacha@yahoo.fr
LOPEZ Julien, Asylum Research an Oxford Instruments company
julien.lopez@oxinst.com
MAFFE Benjamin, VIB & TEC,
benjamin.maffe@vib-et-tec.fr
MAKOUDI Younes, FEMTO-ST/MN2S
younes.makoudi@femto-st.fr
MALLET Pierre, Institut NEEL
pierre.mallet@grenoble.cnrs.fr
MALOUM Fatah, FEMTO-ST
fatah.maloum@femto-st.fr
MARIOLLE Denis, CEA DTSI SCMC / LETI Minatec Campus
denis.mariolle@cea.fr
MARTIN Simon, INSA de Lyon, INL CNRS UMR 5270,
simon.martin@insa-lyon.fr
MASSOUD Toni, Ecole Centrale de Lyon
toni.massoud@ec-lyon.fr

MECHEHOUD Fayçal, IS2M CNRS 7631, UHA
f.mechehoud@hotmail.com
MELIN Thierry, IEMN-CNRS
thierry.melin@univ-lille1.fr
MORAN MEZA José Antonio, CEA Saclay
jose.moran-meza@cea.fr
MUENZING Bjoern, SPECS Surface Nanoanalysis GmBH
marketing@specs.com
NESTEROV Sergey, Spectrum Instruments NT-MDT
ryan@spectrum-inst.com
NGUYEN Van-Son, Université Paris-Sud
van-son.nguyen@u-psud.fr
NGUYEN Tran Phong, ENSMM, FEMTO-ST MN2S
tranphong.nguyen@femto-st.fr
NONY Laurent, IM2NP CNRS UMR 7334
laurent.nony@im2np.fr
NYS Jean-Philippe, IEMN CNRS UMR 8520
jean-philippe.nys@isen.fr
ODORICO Michaël, ICSM UMR 5257
michael.odorico@cea.fr
PAILHAREY Daniel, Axess Tech SARL
info@axesstech.fr
PARAT Vincent, LOVALITE SAS
PARIS Emmanuel, Bruker
emmanuel.paris@bruker.com
PATRONE Lionel, IM2NP CNRS
lionel.patrone@isen.fr
PAWLAK Remy, Université de Bale
remy.pawlak@unibas.ch
PIEDNOIR Agnès, Institut Lumière Matière
agnes.piednoir@univ-lyon1.fr
PORTALUPI Marco, Nanosurf AG
portalupi@nanosurf.com
RAMONDA Michel, CTM/LMCP Université de MONTPELLIER
michel.ramonda@univ-montp2.fr
RANGUIS Alain, CINAM CNRS UMR 7325
ranguis@cinam.univ-mrs.fr
RENAHY David, CETHIL CNRS
david.renahy@insa-lyon.fr
SACI Abdelhak, I2M/TREFLE SITE ENSAM
abdelhak.saci@u-bordeaux1.fr
SALVETAT Jean-Paul, CNRS, Centre de Recherche Paul Pascal
salvetat@crpp-bordeaux.cnrs.fr
SENEQUIER Franck, ELEXIENCE
info.physique@milexia.fr
SORDES Delphine, CEMES/CEATech
delphine.sordes@cemes.fr
STEINBERGER Audrey, ENS de Lyon, Laboratoire de Physique
audrey.steinberger@ens-lyon.fr

STOMP Romain, Zurich Instruments
romain.stomp@zhinst.com
THOMAS Anthony, CINAM CNRS UMR 7325
thomas@cinam.univ-mrs.fr
TRASOBARES Jorge, IEMN CNRS UMR 8520
jorge.trasobares@ed.univ-lille1.fr
VASSANT Simon, CEA/ORF/ZRAMIS
simon.vassant@cea.fr
VECCHIOLA Aymeric, Thales
aymeric.vecchiola@thalesgroup.com
VERLHAC Benjamin, IPCMS CNRS
benjamin.verlhac@ipcms.unistra.fr
VERSCHOOR Benjamin, Spectrum Instruments NT-MDT
ryan@spectrum-inst.com
VIGUIER Claude, OMICRON NANOTECHNOLOGY
omicron.nanotechnology@wanadoo.fr
VILLENEUVE-FAURE Christina, LAPLACE
christina.villeneuve@laplace.univ-tlse.fr
WINKELMANN Clémens Institut Néel CNRS
clemens.winkelmann@neel.cnrs.fr
ZAMBELLI Tomaso, ETH Zurich
ztomaso@ethz.ch
ZHAN Gaolei, FEMTO-ST/MN2S
gaolei.zhan@femto-st.fr
ZHANG Yinping, UTT
yinping.zhang@utt.fr

Asylum Research an Oxford Instruments company
Oxford Instruments, 77 ZA de Montvoisin, 91400 Gometz-la-ville, France
06 66 67 73 32
julien.lopez@oxinst.com

AxessTech
750, Chemin de Beaupré 13760 Saint-Cannat
+33 (0)4 42 57 30 06
info@axesstech.fr

Bruker
7 rue de la Croix Martre, 91120 Palaiseau, France
01 72 86 61 00
productinfo.europe@bruker-nano.com

ELEXIENCE
9 Rue des Petits Ruisseaux BP 61, 91371 Verrières le Buisson CEDEX, France
06 20 09 22 00
a.pincemaille@elexience.fr

Horiba
Avenue de la Vauve, 91120 Palaiseau, France
marc.chaigneau@horiba.com

JPK Instruments AG
Colditzstr. 34-36, 12099 Berlin, Germany
confregis@jpk.com

Keysight Technologies
3 AVENUE DU CANADA, CS 50035 LES ULIS, 91940 LES ULIS, France
+33 1 64 53 50 35
contactcenter_france@keysight.com

LOVALITE SAS
7 rue Xavier Marmier, 25000 Besançon, France
03 81 53 26 25
dahmanib@lovalite.com

NanoAndMore France SARL
33 rue vital, 75016 Paris, France
01 42 88 29 67
sales@nanoandmore.fr

Nanosurf AG
Gräubernstrasse 14, 4410 Liestal, Switzerland
+41 61 927 47 47
portalupi@nanosurf.com

Spectrum Instruments NT-MDT
NT-MDT S&L,NT-MDT House, Castletroy, num 353, Limerick, Ireland
ryan@ntmdt.ie

ScienTec
17 avenue des andes, 91940 Les Ulis, France
01 64 53 27 00
e.lepleux@scientec.fr

SPECS Surface Nano Analysis GmbH
Voltastrasse 5, 13355 Berlin, Germany
+49 30 46 78 240
marketing@specs.com

VIB & TEC
15 rue de Saint Louis, 68220 Hésingue, France
03 89 69 11 90
benjamin.maffe@vib-et-tec.fr

Zurich Instruments
Technoparkstrasse 1, 8005 Zurich, Switzerland
+33 78 62 58 507
romain.stomp@zhinst.com

Forum des Microscopies à Sonde Locale 2016

Horaire	Lundi 21 mars	Horaire	Mardi 22 mars	Horaire	Mercredi 23 mars	Horaire	Jeudi 24 mars	Horaire	Vendredi 25 mars
08:00	Accueil	08:30	Session 3 - 3 oraux	08:30	Session 8 - 3 oraux	08:30	Session 12 - 3 oraux	09:00	Session 14 - 3 oraux
		10:20	Pause café	10:20	Pause café	10:20	Pause café	10:15	Pause café
		10:45	Session 4 - 3 oraux	10:45	Session 9 - 3 oraux	10:45	Session 13 - 3 oraux	10:40	Session 15 - 2 oraux
12:00	Buffet froid	12:00	Déjeuner	12:00	Déjeuner	12:00	Déjeuner	11:30	Clôture
13:00	Accueil	14:00	Session 5 - 4 oraux	14:00	Session 10 - 4 oraux	14:00	Visites / Temps libre	11:45	Buffet froid
15:15	Ouverture	15:40	Pause café	15:40	Pause café				
15:30	RéMiSoL	16:05	Session 6 - 3 oraux	16:05	Session 11 - 3 oraux				
15:50	Session 1 - 3 oraux	17:20	Session 7 - 6 oraux	17:30	Posters				
17:05	Pause café	18:10	Posters	19:00	Temps libre	19:00	NanoCar Race		
17:30	Session 2 - 6 oraux	19:30	Temps libre						
18:20	Posters								
19:15	Apéritif								
20:00	Diner	20:00	Diner	20:00	Diner	20:00	Diner de Gala		