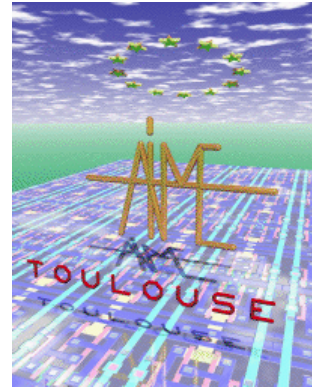


NaPa
Emerging Nanopatterning Methods



Dans le cadre du projet européen NAPA, le LAAS, l'AIME et l'INSA s'associent pour organiser une école d'été : « PANAMA summer school », dédiée à l'enseignement des Nanotechnologies par la pratique.



PANAMA Summer school – Toulouse – 4th/15th July 2005

<http://www.phantomsnet.net/NAPA>, <http://www.laas.fr>, <http://www.insa-toulouse.fr>,
<http://www.aime-toulouse.fr>

L'enseignement des nanotechnologies constitue une des priorités de l'union européenne. Former des jeunes scientifiques et des ingénieurs à ces nouvelles technologies est un enjeu stratégique aussi important que celui de la recherche. Il s'agit également par cet enseignement de présenter les sciences dites « dures » sous un aspect nouveau et attractif, à de jeunes étudiants de plus en plus enclins à se tourner vers d'autres types de carrières professionnelles. Les différentes analyses réalisées sur l'enseignement des nanotechnologies montrent qu'une approche pédagogique par la pratique (« hands-on »), tournée vers la réalisation d'objets technologiques servant des applications, serait un atout majeur. Si de nombreuses écoles européennes existent sur l'enseignement formel des nanosciences, rares sont les écoles proposant des enseignements pratiques (TP Nano). Ceci est lié à la difficulté de mettre en place des ateliers de nanofabrication car les outils de fabrication et de caractérisation à l'échelle nanométrique restent onéreux. Ces moyens technologiques sont bien souvent la propriété de laboratoires de recherche donc peu accessibles à l'enseignement.

La communauté Nano Toulousaine sensibilisée à ce problème de l'enseignement pratique des nanotechnologies a décidé de proposer une école d'été très originale combinant une semaine de travaux pratiques et une semaine de cours centrés sur les méthodes de nanofabrication dites émergentes et leurs applications. Pour bien montrer que l'approche pédagogique consiste à expérimenter les nanos avec les mains, la semaine de travaux pratiques est organisée avant la semaine de cours.

Cette première école d'été, baptisée « **PANAMA school : PAttering at the NANoscale – Methods and Applications** » a mûri au sein du projet **Intégré Européen NAPA** (<http://www.phantomsnet.net/NAPA/index.php>), dont le but est de développer et d'amener à maturité industrielle les nouveaux procédés de fabrication à l'échelle nanométrique tels que la Nano-Impression, la lithographie « Stencil », la lithographie douce et l'auto-assemblage. Comme ces nouvelles techniques industrielles de Nano-patterning fonctionnent sans appareillage lourd (contrairement aux techniques plus traditionnelles), leur enseignement par la pratique devient possible dans des structures d'enseignement telle que l'AIME par exemple. Le projet intégré **NAPA** a assuré la totalité du financement de l'école PANAMA qui était gratuite pour les étudiants sélectionnés.

L'organisation de l'école d'été PANAMA à Toulouse du 4 au 15 Juillet 2005 a été assurée par l'INSA de Toulouse et le LAAS-CNRS et prise en charge par **Mathieu Sagnes** (post-doc) et **Christophe Vieu**. 24 étudiants (10 filles et 14 garçons) ont suivi les deux semaines de formation. Ces étudiants étaient en majorité des doctorants de première année ou des étudiants de master. Leur formation initiale couvrait un spectre large : 1/3 des étudiants étaient des biologistes, 1/3 des chimistes ou des ingénieurs matériaux et 1/3 des physiciens. Des trinômes mixtes, mélangeant les compétences et les origines géographiques ont permis de favoriser l'auto-formation et les rapports humains. La formation était dispensée en langue anglaise.

Menu des travaux pratiques

Au cours de la première semaine dédiée à l'expérimentation pratique 5 ateliers de nanofabrication ont été organisés.

1- Introduction à la lithographie douce et à la fabrication de biopuces ADN
Encadrants : M. Sagnes, V. Leberre, L. Malaquin, M. Genevieve, F. Gessin (LAAS, Plate-forme génomique INSA Toulouse, IBM Zurich, AIME)

L'atelier lithographie douce a été mis en place à l'AIME de Toulouse et à la Plateforme biopuces de la Génopole de Toulouse (INSA). L'atelier peut accueillir 12 étudiants sur 2 jours et demi. Deux sessions ont été organisées afin que les 24 étudiants de l'école puissent en bénéficier. Les étudiants fabriquent eux-mêmes de A à Z des moules en silicium comportant des motifs micrométriques, élaborent des timbres souples en PDMS, impriment par lithographie douce des fluorophores et des brins d'ADN, puis caractérisent des hybridations ADN/ADN grâce à un scanner de fluorescence. Ils balayent ainsi les technologies classiques de la microélectronique (photolithographie, gravure sèche), les traitements de surface (SAM de démoulage, mise en forme du PDMS) et la technologie des biopuces à ADN.

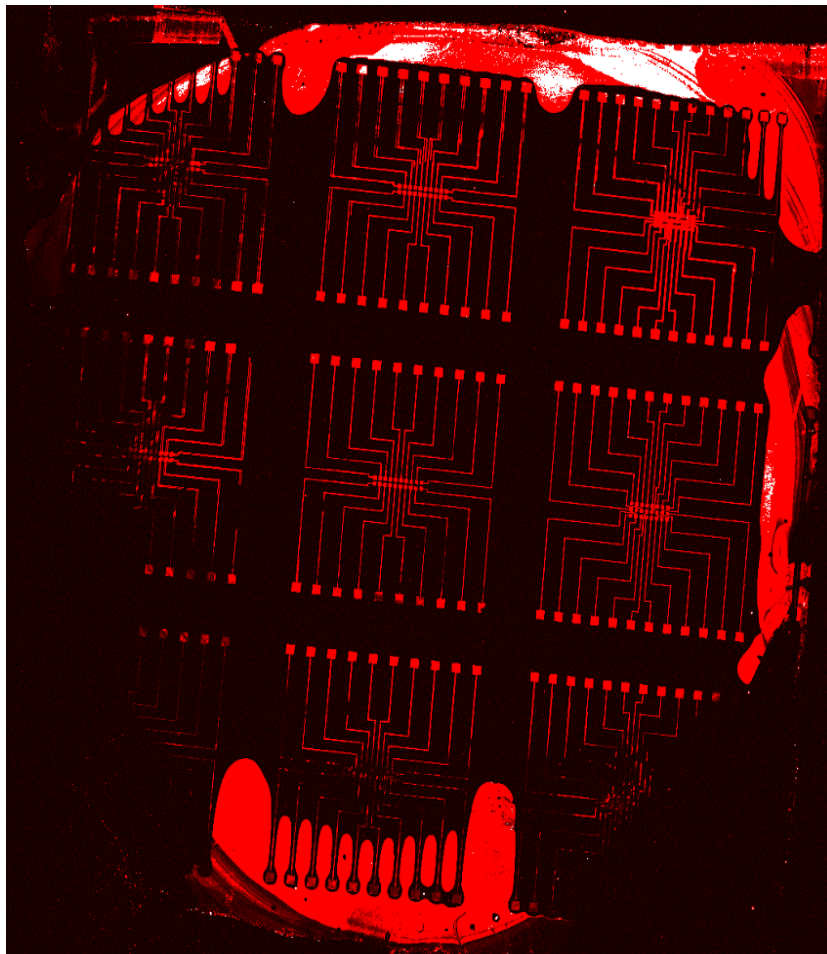


Image obtenue par des étudiants au cours de l'atelier, représentant des motifs micrométriques de molécules d'ADN fluorescentes imprimés par lithographie douce sur des substrats de Silicium.

2- NanoImpression

Encadrants : L. Ressler and B. Viallet LNMO-INSA

Cet atelier de une demi journée a été mis en place au LNMO (INSA Toulouse). A partir de moules en Silicium déjà fabriqués, les étudiants expérimentent un procédé de Hot-Embossing et un procédé de Nano-Imprint sur une résine thermoréticulable. Les motifs de résine sont

observés par Microscopie électronique et par AFM. Les limites en rapidité et en résolution des différents procédés de Nano-Impression sont discutées.

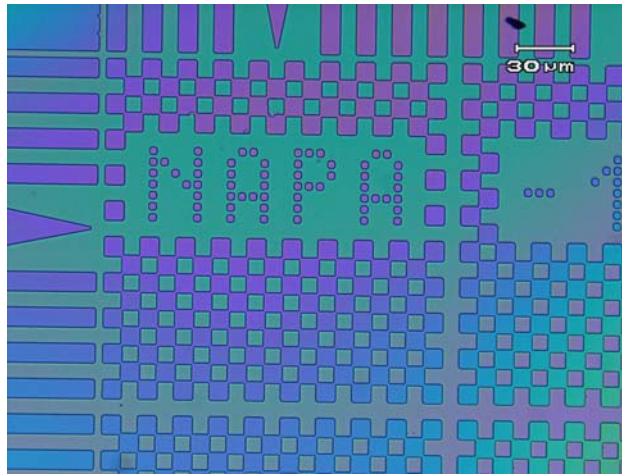


Image obtenue par des étudiants au cours de l'atelier, représentant des motifs micrométriques imprimés par NIL à l'aide d'un moule fabriqué au sein du projet Européen NAPA.

3- Lithographie douce à l'échelle nanométrique

Encadrants : C. Séverac and C. Thibault LAAS-CNRS

Cet atelier de une demi-journée a été mis en place au LAAS-CNRS. A partir de moules en silicium comportant des motifs nanométriques réalisés au sein de l'atelier lithographie électronique (voir plus loin), les étudiants impriment des motifs moléculaires par lithographie douce avec une résolution sub-micronique. Un process de Micro-Transfert molding, très robuste, est utilisé pour obtenir avec une très grande reproductibilité des motifs à base de dendrimères. Ces motifs Nanos sont caractérisés systématiquement par AFM.

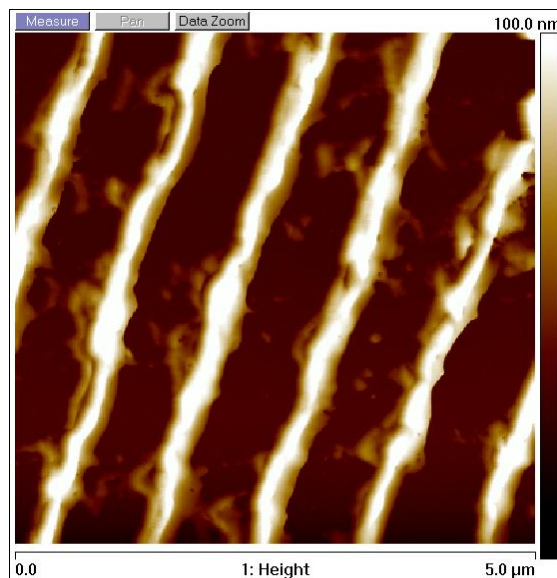


Image obtenue par des étudiants au cours de l'atelier, représentant des motifs nanométriques de dendrimères imprimés par soft-lithography. La largeur des lignes est de 150 nm.

4- Lithographie « Stencil »

Encadrants : J.Grisolia*, J.L Gauffier* and M.A.F. van den Boogaart, *LNMO-INSA and **EPFL**

Cet atelier de une demi journée a été mis en place au LNMO (INSA) avec la collaboration de l'école polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Les étudiants manipulent autour d'un évaporateur thermique qui permet par simple dépôt au travers d'un masque mécanique posé sur l'échantillon, de réaliser des motifs nanométriques sur une surface. Les masques « stencil » ont été fournis par le projet européen NAPA. Après caractérisation par Microscopie électronique et AFM des échantillons et des masques, les étudiants discutent les problèmes de résolution, de contrôle dimensionnel, d'obturation des trous. Les étudiants réalisent des motifs nanométriques sur des surfaces déjà patternées au cours de l'atelier Nano-Impression en prélude à une approche 3D.

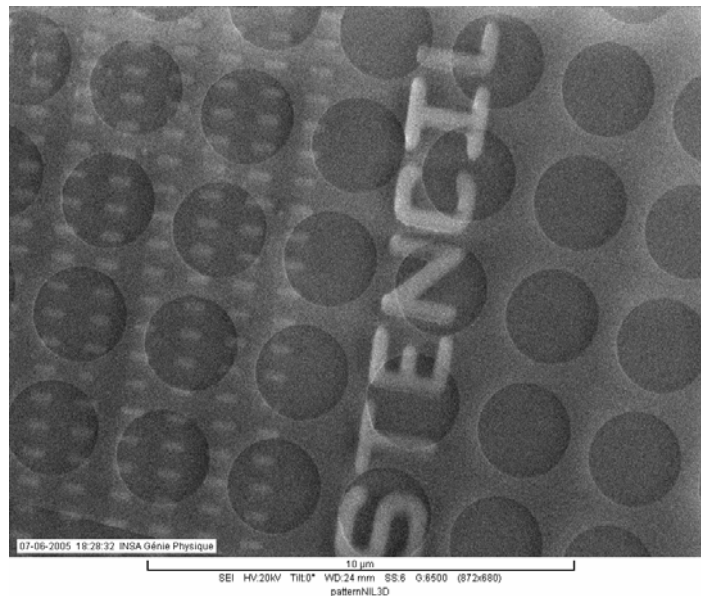


Image obtenue par des étudiants au cours de l'atelier, représentant des motifs nanométriques déposés par « stencil lithography » sur une couche de résine préalablement structurée par NIL. . La largeur des plus petites lignes est de 150 nm.

5- Fabrication de moules par lithographie électronique

Encadrants : F. Carcenac, E. Daran and C. Séverac LAAS-CNRS

Cet atelier de une demi journée a été mis en place au LAAS. Les étudiants se sont familiarisés avec les logiciels de dessin des motifs et les réglages fins de la colonne électronique. Le système électronique RAITH 150 a été mis à disposition de l'école pendant une semaine. Chaque groupe a réalisé une ou plusieurs insulations, a développé la résine après insolation et a caractérisé les motifs obtenus. Certains échantillons ont été convertis en moules durs de Silicium par gravure ionique réactive en utilisant directement le PMMA comme masque de gravure. Ces moules ont été utilisés lors de l'atelier sur la lithographie douce à l'échelle nanométrique.

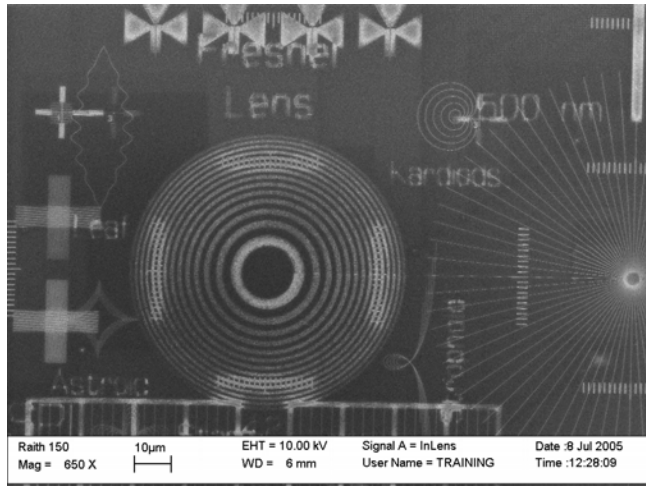


Image obtenue par des étudiants au cours de l'atelier, représentant des motifs nanométriques obtenus par lithographie électronique sur une couche de résine PMMA . La largeur des plus petites lignes est de 25 nm.

Menu des cours

- Lundi 11 Juillet: Social and ethical implications of nanotechnology; Panorama of existing micro and nanopatterning methods

Social and ethical implications of nanotechnology: Helmut Schift PSI

Panorama of nanopatterning methods: alternative lithography : Helmut Schift

MEMS-based nanopatterning: Juergen Brugger EPFL

Self-assembled monolayers and their use in soft and probe lithography: Jurriaan Huskens, Univ. Twente

- Mardi 12 Juillet: Nanoparticles for nanopatterning, NIL, SL, NIL optical applications, nanopatterning for data storage applications

Nanoparticles for nanopatterning: Lucia Curri, CNR IPCF

Nanoimprint lithography: Helmut Schift PSI

Optical applications of NIL: Ivan A. Maximov, Lund Univ.

Microcontact printing: Heiko Wolf IBM Zurich

Nanopatterning for storage applications: Heiko Wolf IBM Zurich

- Mercredi 13 Juillet: MEMS- based nanopatterning, Nanopatterning for biochips

Stencil lithography: Lianne Doeswijk EPFL

UHV Dynamic Stencil: Tomaso Zambelli CEMES

BioPlum: Liviu Nicu LAAS

Nanodispensing: André Meister CSEM

Nanofluidics for DNA analysis : Jonas Tegenfeldt Lund University

Micro/nanofluidics for bioseparation: Jonas Tegenfeldt Lund University

- Jeudi 14 Juillet: Journée sur le catharisme, sortie aux châteaux de Lastours et à Carcassonne, banquet, feux d'artifice

- Vendredi 15 Juillet : Polymers for nanopatterning, NIL modeling, characterization of materials

Polymers for nanopatterning : Marko Vogler MRT

NIL modeling and nanorheology of polymers: David Mendels NPL

Characterization of polymers and other materials : Zygmunt Rymuza WUT

Résultats – Conclusions - Perspectives

Les différents groupes d'étudiants ont consigné leurs résultats dans un rapport, dont le but principal est pour les organisateurs de l'école de suivre les procédés et de proposer des améliorations pour une future édition.

Les étudiants de l'école ont été interviewés individuellement sur un ensemble de questions visant à connaître leur projet professionnel personnel autour des nanotechnologies, leur situation actuelle, les obstacles qu'ils présentent par rapport à leur projet « nano » et leur évaluation de l'école d'été.

Ces interviews ont été filmés et sont condensés dans une video disponible sur le site web du projet Européen NAPA. La combinaison de travaux pratiques et de cours théoriques a été unanimement appréciée. Le début de l'école par la semaine pratique a été perçu très positivement. Le rassemblement au sein du campus des étudiants et des enseignants pendant quinze jours a permis l'établissement de rapports humains très enrichissants.

Une nouvelle édition de l'école d'été PANAMA à Toulouse est en cours d'élaboration.