

Compte rendu du Conseil Scientifique MINAS du 20 Novembre 2008

Présents : M. Baffleur, F. Cristiano, C. Fontaine, H. Granier, AM Gué, O. Llopis, F. Lozes, L. Nicu, R. Plana, C. Rossi, B. Rousset, J.L. Sanchez, C. Vergnenègre

Ce CS exceptionnel est dédié à la préparation de la demande d'équipement RTB 2009.

Les équipements identifiés sont :

AFM multi mode : environ 300k€
FIB : 1 à 1,5 M€
OMCVD, AVD, ALD : 400 à 700 k€
MVD : 60 à 300k€
RIE III-V : 150k€
Jet d'encre : 60k€
Gravure laser : 105 k€
DDX : 300k€

Les contextes scientifiques et précisions techniques liés à ces équipements sont donnés en annexe.

Les dossiers OMCVD/AVD/ALD et MVD doivent encore être complétés et discutés. Deux groupes de travail seront constitués pour ce faire.

Sont proposés :

OMCVD/AVD/ALD : E. Scheid, C. Rossi, M. Brunet, L. Nicu, B. Rousset, H. Granier
MVD: C. Séverac, A. Bancaud, A.M. Gué, 1 ou 2 personnes de TEAM (à définir)

Ces dossiers doivent être bouclés avant le 15 janvier date de la réunion RTB de soumission des demandes argumentées.

Les équipements sont classés en 2 groupes de priorité :

Groupe 1 :

- 1- FIB
- 2- OMCVD/AVD,ALD
- 3- AFM
- 4- MVD

Groupe 2 (non classés) :

RIE
Gravure Laser
Jet d'encre
DDX

En ce qui concerne le FIB, cet achat pourrait être partagé avec le CEMES dans des conditions à définir et négocier. H. Granier récupère les argumentaires prépare un document qui servira pour la demande RTB. Il le soumettra aux membres du CS pour validation finale et identification par chaque groupe des projets soutenus par les équipements concernés.

En parallèle à l'établissement de la liste de matériel, le besoin en personnel pour la gestion et l'exploitation de ces équipements a été pointé. De même le problème de l'implication des chercheurs en technologie est donc en salle blanche a été évoqué.

Le séminaire de restitution des réflexions prospectives « Roadmap» est reporté au 2 Février 2010.

AFM Multimode

1. Argumentaire scientifique et technique

Le Microscope à Force Atomique est un instrument de caractérisation des surfaces. Il permet d'atteindre, à la pression atmosphérique, des résolutions de l'ordre de quelques nanomètres en x y et z (il s'agit d'une caractérisation topographique). Du fait de son principe de fonctionnement ce microscope peut également travailler en milieu liquide et donc sur du matériel biologique dans un bon état de conservation. Des modes électriques ont été dérivés de l'AFM : EFM, SCM, SSRM, TUNA et permettent de décrire les caractéristiques électriques des surfaces étudiées. L'AFM est donc un instrument de caractérisation polyvalent (topographie, microélectronique, biologie) répondant au besoin de caractérisation des surfaces.

2. Groupes ayant exprimé un intérêt pour l'équipement

NBS : module liquide pour les échantillons biologiques ; Conductive AFM pour la caractérisation électrique de nanofils ; PiezoForce Microscopy (pour l'étude en temps réel de l'orientation de dipôles ferroélectriques)

N2IS : aujourd'hui mesures topographiques et de rugosité bien assurées par le Dimension de la salle Blanche ; A l'avenir, milieu liquide pertinent, mesures physico-chimiques locales et mesures électriques aussi pertinentes mais restent une perspective

MINC : chargement de diélectriques par la pointe AFM (dépôt de charges) et mesure de la cinétique de décroissance des charges (mode Kelvin principalement). L'AFM actuel ne permet pas de faire des mesures en ambiance contrôlée et on obtient des résultats qui dépendent de l'humidité. On prévoit d'acquérir le plus rapidement possible un AFM avec ambiance contrôlée et régulation thermique (pour des tests en température).

Photonique : pas de besoins exprimés au 19 nov. 2008

IGGE : pas de besoins exprimés au 19 nov. 2008

M2D : pas de besoins exprimés au 19 nov. 2008

3. Equipement répondant le mieux à l'ensemble des besoins

AFM multi-mode V Veeco.

It performs the full range of atomic force microscopy (AFM) and scanning tunneling microscopy (STM) techniques to measure surface characteristics like topography, elasticity, friction, adhesion, and magnetic/electrical fields. A short mechanical path length between probe tip and sample provides very fast scan rates with the utmost precision.

The system's new NanoScope V controller delivers reliable, high-speed data capture of high-pixel-density images (5120 x 5120) union allowing researchers to record and analyze tip-sample interactions that probe nanoscale events at timescales previously inaccessible to SPM. This state-of-the-art controller enables up to eight images to be simultaneously displayed/captured, offers outstanding software functionality and compatibility, and features Easy-AFM an intuitive, easy-to-follow graphic user interface for new or infrequent SPM users that streamlines every step of instrument operation.

4. Coût estimatif

300 k€

FIB (Focused Ion Beam)

1. Argumentaire scientifique et technique

La réalisation de systèmes basés sur l'emploi de nano-composants représente un axe de développement très important pour les microsystèmes. Les potentialités de gravure et déposition à haute résolution, offertes par un système de type FIB, offrent la possibilité d'adresser des nanostructures isolées à l'intérieur de micro-dispositifs plus complexes. Cette possibilité est indispensable pour la caractérisation de nanostructures isolées et pour la fabrication de prototypes avancés de nano-dispositifs.

Dans un FIB, la gravure est assurée par le faisceau d'ions focalisés (généralement du gallium), alors que le dépôt de métaux (W ou Pt) s'effectue à l'aide de gaz précurseurs introduits dans la chambre à vide et décomposés par le faisceau d'ions. La visualisation de l'échantillon se fait par détection d'électrons secondaires, générés par le faisceau même d'ions focalisés ou bien par un faisceau d'électrons (MEB) installé dans la même machine. On parle alors de systèmes *Dual Beam*.

Dans le domaine des semiconducteurs, l'utilisation du FIB est donc envisageable pour la réparation et modification de circuits intégrés, pour la préparation de lames fines pour la Microscopie Électronique en Transmission (MET) et, plus en général, pour la « nanofabrication ».

2. Groupes ayant exprimé un intérêt pour l'équipement

NBS : Nano-adressage : dépôt de nanocontacts sur des nanofils métalliques et silicium pour caractérisation électrique.

MINC : Préparation d'échantillons MET pour l'analyse de défaillance de capacités MIM

Photonique : Préparation d'échantillons MET pour l'étude de l'oxydation d'AlAs dans des hétérostructures de type GaAs/AlGaAs/AlAs

M2D : Préparation d'échantillons MET pour la caractérisation de composants électroniques à base de matériaux organiques, et pour l'étude de transistors à nanofils (FinFETs).

ISGE : Préparation de « cross-sections » localisés pour caractérisation de FLIMOS par SCM.

TEAM : Préparation de « cross-sections » localisés pour la Caractérisation de motifs de gravure RIE sur verre (fabrication moules nanoimprint).

3. Equipement répondant le mieux à l'ensemble des besoins

Système *Dual Beam* (FIB + MEB) équipé avec les options suivantes :

- GIS (*Gas Injection System*) pour le dépôt de métaux, isolants et pour le contrôle de la vitesse de gravure
- micromanipulateurs (micro-pinces et/ou pointes métalliques)
- compatible plaques 6 pouces (zone d'observation réduite acceptable, par ex. 4 pouces)
- logiciels d'automatisation *AutoFIB* (réalisation de puits) et *AutoTEM* (*lames fines*)

Les deux meilleures marques de FIB sont Zeiss (séries *Neon* et *NVision*) et FEI (*Nova Family*). D'autres systèmes sont proposés par Hitachi, JEOL et TEMSCAN

4. Coût estimatif

1-1,5 M€

Gravure laser

1. Argumentaire scientifique et technique

La réalisation de circuits sur des substrats de dimensions relativement importantes, ou d'antennes imprimées (MINC), nécessite de passer par une étape masque + photogravure qui peut être longue et onéreuse, d'autant qu'actuellement les circuits sur substrats souples + cuivre sont sous-traités à des sociétés extérieures. Par contre, la réalisation de circuits fonctionnant à des fréquences élevées ($f > 12$ GHz), ou répondant à des côtes mécaniques très précises, impose l'utilisation d'un substrat rigide comme par exemple de l'alumine. Ce dernier type de circuit est réalisé au LAAS (ex : gravure chimique de substrats alumine + Au $5 \mu\text{m}$).

La possibilité de disposer d'un appareil capable de traiter ces deux types de réalisations, sans passer par l'étape de masque, serait un plus considérable pour le laboratoire, qui faciliterait le travail de nombreux chercheurs/ingénieurs du LAAS. Tout le domaine de l'électronique au LAAS est concerné, et cela dépasse le seul cadre de MINAS.

Les considérations ci-dessus s'appliquent à une utilisation « normale » de l'appareil. Cependant, la gravure laser permet également des réalisations non classiques, inaccessibles à l'approche « photogravure ». Par exemple, on peut envisager de graver des circuits sur un objet tri-dimensionnel (cas du cube MCM). On peut également retoucher un circuit ou un dispositif déjà réalisé.

Caractéristiques techniques :

Taille maximum du substrat : $229*305*10$ mm

Taille du faisceau laser : $25 \mu\text{m}$

Largeur minimale de piste : $50 \mu\text{m}$

Largeur minimale de gap : $25 \mu\text{m}$

Répétitivité : $\pm 2 \mu\text{m}$

2. Groupes ayant exprimé un intérêt pour l'équipement

MOST, MINC + tous les groupes susceptibles de réaliser des circuits électroniques sur substrats divers : souples (teflon, duroïd ...), céramiques (alumine...), monocristallins (Si...)

3. Equipement répondant le mieux à l'ensemble des besoins

Un seul équipement étudié à ce jour : LPKF Protolaser S

Mais il y en a probablement d'autres sur le marché

4. Coût estimatif

105 k€HT pour l'équipement ci-dessus

Jet d'encre

1. Argumentaire scientifique et technique

Une machine de dépôt par jet d'encre permet de réaliser des circuits imprimés par écriture directe sur des substrats souples polymères ou en papier ou même biologique. Cela ouvre la porte au développement d'encre à base de nanoparticules pour la réalisation de capteurs, dispositifs de génération, stockage et de traitement de l'information qui seront implémentés dans les futures générations de RFID ou de réseaux de capteurs sans fils. Le laboratoire dispose déjà de ce type d'équipement mais vu la demande croissante qui est en train d'émerger, il semble important d'acquérir très rapidement une deuxième machine sur laquelle pourra être réalisée des recherches plus exploratoires.

2. Groupes ayant exprimé un intérêt pour l'équipement ou travaillant déjà sur ce type d'équipement

N2IS : sources d'énergie

ISGE : passifs et stockage d'énergie

MINC : RFID sur papier pour intelligence ambiante

M2D : Nouvelles génération de capteurs, procédés technologiques « verts »

3. Equipement répondant le mieux à l'ensemble des besoins **DIMATIX fujifilm ou équivalent**

4. Coût estimatif

60k€

MVD (Molecular Vapor Deposition)

1. Argumentaire scientifique et technique

La MVD (Molecular Vapor Deposition) est une technique de dépôt de molécules organiques en phase vapeur. Elle permet en particulier de greffer des couches moléculaires auto-organisées (SAMs) sur une grande variété de substrats. Elle permet donc de conférer aux surfaces des structures les propriétés adéquates d'adhésion, hydrophobie/philie, biocompatibilité, ... Le procédé étant en phase vapeur, elle permet un recouvrement conforme dans toutes les configurations (longues canalisations, nanogaps, etc...) et une compatibilité avec un grand nombre de substrats (pas de pb de solvant avec les polymères par exemple). Elle peut donc intervenir dans les procédés MEMS de manière générale mais également dans les technos de Nanoimprint, ink jet, assemblage (protection des « bond pads ») ainsi que dans toutes les applis à la bio et la microfluidique.

2. Groupes ayant exprimé un intérêt pour l'équipement

N2IS : dépôts silanes fonctionnels

M2D : ?

NBS :

3. Equipement répondant le mieux à l'ensemble des besoins

Un équipement identifié : MVD 100 de Applied MST. Possibilité tests au LETI.

4. Coût estimatif

Environ 350k€(prix catalogue)

OMCVD/AVD/ALD

1. Argumentaire scientifique et technique

Une machine de dépôt dite OMCVD ou ALD, ou AVD est une machine de dépôt à partir de phase vapeur, fonctionnant par décomposition thermique de sources organo-métalliques. Ces bâtis permettent le dépôt sur plaques de 15cm ou moins de couches comportant tout types d'éléments, des oxydes métalliques tels que ZrO₂, aux ternaires et perovskites tels que PZT. Les techniques AVD ou ALD sont les seules qui offrent la chance de déposer des couches contrôlées, reproductibles, homogènes et surtout conformes dans des tranchées à fort rapport d'aspect. Les besoins exprimés au LAAS concernent des couches d'épaisseurs moyennes, de 50 nm à 5µm, qui font privilégier une solution OMCVD – AVD, bien que des bâtis ayant un système d'injection compatible avec une technique ALD puissent se concevoir, la technique ALD présentant l'avantage de permettre plus aisément le dépôt de couches conformes.

2. Groupes ayant exprimé un intérêt pour l'équipement

N2IS : Matériau à forte piézoélectricité, ex : PZT.

Contexte/applications: MEMS à actionnement et détection intégrées

ISGE : Matériau à forte permittivité (> 100): BST, PZT

Contexte/applications: capacités MIM pour convertisseurs DC-DC

MINC : Matériau à forte permittivité ou forte piézoélectricité.

Contexte/applications: capacités MIM, actionnement de microstructures

M2D : Matériau piézoélectrique

Contexte/applications: actionneur, détecteur de type MEMS-piezo, transduction RF

3. Equipement répondant le mieux à l'ensemble des besoins

ANNEALSYS + KEMSTREAM : Réacteur OMCVD -AVD,
PICOSUN : réacteur ALD

4. Coût estimatif

400 k€ pour la Machine ANNEALSYS

700 k€ pour la machine PICOSUN

Diffractomètre X

Principe de fonctionnement : La diffraction de rayons X est une technique de caractérisation non destructive. Elle consiste à bombarder l'échantillon à étudier de rayons X ($\lambda=1.54059 \text{ \AA}$ typiquement), et à mesurer l'intensité diffractée en fonction de l'angle d'incidence et de réflexion.

Propriétés caractérisées : Mesure sur des cristaux, des épaisseurs de couches, multicouches, de contraintes, de composition, de rugosité d'interfaces, de degré de relaxation. On peut aussi mesurer l'épaisseur, la densité et la rugosité d'interface de couches amorphes (en incidence rasante).

Performances et limites :

Zone sondée de $500\mu\text{m} \times 500\mu\text{m}$ au minimum

Équipement relativement facile à utiliser après formation

Les mesures sont extrêmement précises (% monocouche atomique).

Utilisations possibles pour le labo, retombées :

Caractérisation des couches épitaxiées (épaisseurs, concentrations, contrainte ...).

Étude des métaux polycristallins obtenus par évaporation ou électrochimie sur différents supports (Si, résine photosensibles, polyimide,...) : rugosité, épaisseur, composition si multicouche

Étude des matériaux diélectriques : Si_xN_y (taille de grains), stoechiométrie

Positionnement par rapport aux autres centrales (si possible) : appareil de proximité, rencontrés dans toutes les centrales hors LAAS

Groupes et activités concernés :

Groupe photonique pour l'épitaxie par jets moléculaires.

Groupe MINC pour les métaux poly cristallins et le Si_3N_4

Plus généralement, tous les groupes utilisant la salle blanche sont potentiellement intéressés.

Prix de l'équipement : Environ 300k€

Contraintes spécifiques :

Aspects de sécurité liés à la génération de rayons X

Autres remarques :