

Rapport de visite au CDTA Algérie

12 au 17 Juin 2009

Par Mathieu Benoit

Ce rapport de visite est motivé par une invitation à dispenser une formation sur les outils de simulation technologique SILVACO à une équipe de chercheurs du Centre de Développement des Technologies Avancées d'Alger. Additionnellement, une visite des installations de département de microélectronique du laboratoire fut organisée, suivit d'une discussion sur les possibilités de collaboration entre le groupe Pixels planaires ATLAS du Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire et l'équipe de chercheurs du département de microélectronique du CDTA.

Visite du CDTA: Division Microélectronique et Nanotechnologie

La recherche au département de microélectronique et de nanotechnologie du CDTA porte essentiellement sur la conception et la fabrication de système électroniques sur circuit intégrés (*System on a Chip SoC, Acquisition System on Integrated Circuit ASIC*). Le département bénéficie de l'installation récente d'un complexe de salles blanches hébergeant une centrale technologique de fabrication de prototypes et de petites séries de circuits VLSI 1 μm . Cette centrale contient la machinerie nécessaire à la fabrication des circuits intégrés en technologie CMOS 1 μm , soit les fours, l'implantateur, les appareils de gravure et passivation, de découpe et d'assemblage des circuits intégrés.

Les installations sont en place et le contracteur chargé de la livraison de la centrale procède présentement à la calibration des appareils installés. L'étape suivante sera la calibration du procédés de fabrication des circuits en technologie CMOS 1 μm .



Illustration 1: Centrale technologique, CDTA, Alger



Illustration 2: Machine a "bonding"



Illustration 3: Centrale technologique, four

Les installations disponibles dans la centrale technologique sont suffisantes pour la fabrication de pixels planaires. Dans le cadre de possible collaborations entre le LAL et le CDTA, une implication dans la fabrication de dispositifs peut-être envisagé.

Le CDTA possède également une salle de caractérisation des dispositifs microélectronique. On y retrouve notamment 2 bancs test sous pointes :

- **Karl Suss AP4** manuel avec cage de faraday
- **Cascade Microtech RF**, avec aiguilles triaxiales, semiautomatique, pilotage par PC

Ces stations peuvent s'avérer utiles dans le cadre d'une collaboration entre le LAL et le CDTA pour la caractérisation des dispositifs pixels planaires. Les appareils de mesure nécessaires sont aussi disponibles :

- **Agilent 4284A** LCR-mètre
- **Agilent 4156C** : Analyseur des paramètres semi-conducteurs de Précision, résolution SMU (1fA/2 μ V to 100mA/100V)
- **Agilent 41501B**: SMU and Pulse Generator Expander (1A-200V)
- **Agilent E5250A**: Matrice d'interconnection, Low Leakage Switch Mainframe

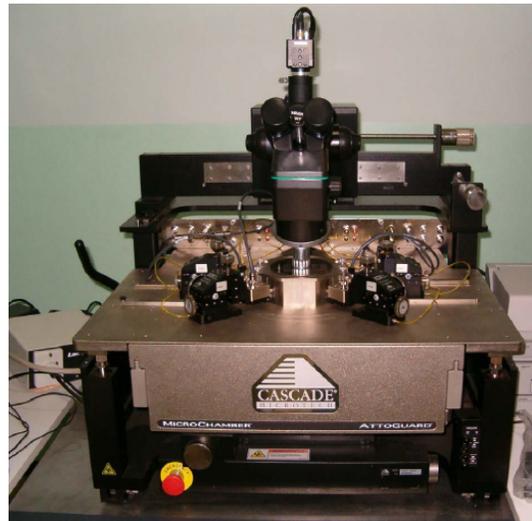


Illustration 4: Banc sous pointes Cascade Microtech semi-automatique

La présence d'un système sous pointes triaxiales s'avère aussi intéressante car elle permettent la mesure de faibles courants émanant d'un pixel unique. Cette capacité de mesure serait complémentaire à celles déjà disponible au LAL. Toutefois, quelques points majeurs sont à améliorer pour rendre la salle de caractérisation utilisable dans une collaboration sur le projet pixels planaires ATLAS avec le LAL :

- La salle de caractérisation ne possède pas de système de contrôle de la température et de l'humidité ambiante, ce qui pose problème pour la stabilité et la reproductibilité des mesures. Cet environnement cause aussi une usure prématuré des structures pixels.
- Pour la conservation des dispositifs à caractériser, il serait nécessaire que la salle soit dotée d'une enceinte anti-décharge électrostatique avec atmosphère d'azote pour conserver l'intégrité des dispositifs lors de leur entreposage.

Le département de microélectronique a aussi une équipe de designers travaillant à l'élaboration d'un design kit pour la technologie CMOS 1 μ m de la centrale technologique. Cette équipe se montre ouverte a une collaboration éventuelle avec le pôle de microélectronique présent au LAL.

Finalement, le CDTA possède aussi un équipe travaillant sur la simulation technologique à l'aide de l'outil de simulation SILVACO. Le travail de cette équipe porte sur la simulation du procédé technologique CMOS 1 μ m de la centrale technologique. Cette outils sera éventuellement utilisé pour optimiser le procédé et corriger les erreurs éventuelles pouvant survenir dans l'opération de tels centrales technologiques.

Le groupe de simulation se montre très intéressé à la collaboration avec le LAL sur les sujets touchant la simulation technologique :

- Retour d'expérience sur l'utilisation d'un outil de simulation commun à nos laboratoires
- Formations sur l'outils de simulation
- Physique des dispositifs semiconducteurs soumis aux radiations
- Simulation des détecteurs pixels planaires
- Simulation Monte-Carlo du transport dans les dispositifs semiconducteurs
- Simulation de l'interaction rayonnement-matière a l'aide d'outils provenant de la physique des hautes énergies tel GEANT4
- Développement d'outils d'analyse des résultats de simulation

Séminaire général ATLAS

A mon arrivée au CDTA, je fis une présentation de deux heures sur le détecteur ATLAS. Une quinzaine de personnes du laboratoire, principalement du département de microélectronique, sont venues assister au séminaire. Les questions furent nombreuses et très pertinentes, démontrant l'intérêt certain des chercheurs du département pour la physique des hautes énergies. Les sujets abordés furent les suivants :

- Les sous-détecteur d'ATLAS
- La physique du boson de Higgs
- La trajectométrie dans ATLAS
- La physique des détecteurs pixels planaires
- La microélectronique associée aux détecteurs pixels
- L'électronique 3D
- La physique du Silicium irradié
- Le projet superLHC et la mise-à-jour du trajectomètre d'ATLAS



Illustration 5: Séminaire ATLAS général

Formation SILVACO

Le but principal de ma visite au CDTA fut une séance de formation de 4 jours sur les outils de simulation technologique SILVACO. Un programme détaillé de la formation est disponible en annexe. Un dizaine de personnes ont assistés aux différentes sections de la formation, qui consistait d'un enchainement de cours magistraux et d'exemples pratiques sur le logiciel. L'interaction avec les participants de la formation fut très satisfaisante. Les questions furent nombreuses et la discussion fut instructive autant pour les participants que pour le formateur. Le retour de nos expériences respectives avec le logiciel SILVACO fut enrichissant pour tous . Les échanges

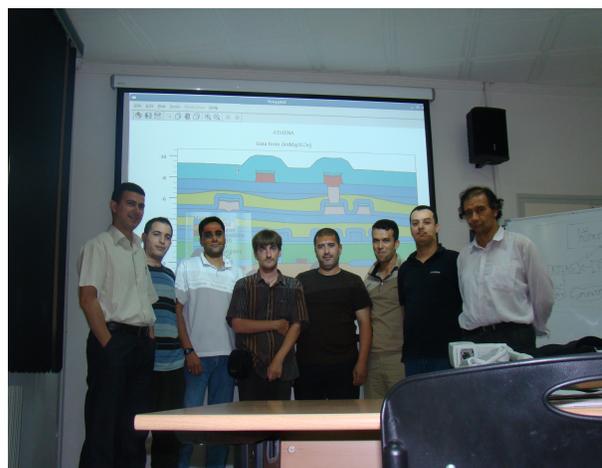


Illustration 6: Formation SILVACO au CDTA

d'information avec les participants à la formation se continueront dans le futur. Les gens du CDTA ont manifesté un intérêt pour un code d'analyse de simulation MATLAB développé pour les besoins de la simulation des pixels planaires au LAL. J'ai donc rendu disponible ce code à l'équipe de simulation , amorçant une collaboration sur un de nos points d'intérêts communs.

Conclusion

Le Centre de Développement des Technologies Avancées d'Alger possède une infrastructure intéressante pour le développement et la caractérisation des dispositifs semiconducteurs. Les chercheurs du laboratoire démontrent un intérêt pour une collaboration avec le groupe pixel au Laboratoire de l'Accélérateur Linéaire sur les aspects simulation et caractérisation des détecteurs pixels planaires . Un groupe de chercheurs oeuvrant sur les différents aspects de la physique et l'ingénierie des semiconducteurs est disponible sur place et démontre un intérêt pour la collaboration dans un projet de physique des hautes énergies. Il existe donc un environnement favorable à la collaboration entre nos deux laboratoires.



Illustration 7: Centre de Développement des Technologies Avancées d'Alger (CDTA)

Annexe

Programme de formation SILVACO pour la visite du CDTA

Par Mathieu Benoit



1- Présentation de la suite de logiciels SILVACO (2 jours)

- a. Principes de base de la simulation éléments finis
 - i. Équation de Poisson
 - ii. Importance du maillage
 - iii. Multi-physique
 - iv. Existence de la solution
- b. Principes de la simulation basée sur la physique
- c. Fonctionnement de « Virtual wafer fab »
 - i. Deckbuild
 - 1. Syntaxe
 - 2. Options
 - 3. Auto-interface
 - 4. Utilité
 - ii. Dbinternal
 - 1. Automatisation avec dbinternal
 - 2. Design of experiment
 - iii. Tonyplot
 - 1. Principes de base
 - 2. Set files
- d. Assembler un dispositif semi-conducteur dans la VWF (ex. MOSFET, Diode)
 - i. La géométrie
 - ii. Les matériaux
 - iii. Les électrodes
 - iv. Les implants
- e. DEVEDIT
 - i. Fonctionnement du logiciel
 - ii. Éditer un modèle avec DEVEDIT
 - iii. DEVEDIT3D

- f. ATHENA
 - i. Maillage
 - ii. Oxydation, diffusion
 - iii. Déposition
 - iv. Etching
 - v. Implantation
 - 1. Analytique
 - 2. Monte-Carlo
 - vi. Définition des électrodes
- g. ATLAS
 - i. Principes de base de la simulation
 - 1. Équations de transport
 - 2. Modèles physique
 - a. Mobilité
 - b. Génération/recombinaison
 - c. Impact ionisation
 - d. Interface oxide-silicium
 - 3. Les types de simulation
 - a. DC
 - i. AC
 - ii. Transitive
 - 4. Les conditions frontières
 - a. SiO₂-Si
 - b. Si-Metal
 - i. Courant/tension fixe
 - ii. Flottant
 - iii. Element de circuits attaché
 - ii. La pratique
 - 1. Le maillage (retour sur devedit)
 - 2. Ordre des déclarations
 - 3. Formats de données
 - 4. Extraction de paramètres
 - 5. Atlas3D
 - iii. Les ajouts à ATLAS
 - 1. LUMINOUS
 - 2. MERCURY
 - 3. MIXEDMODE
 - 4. GIGA & THERMAL3D
- h. Aspects avancés de la simulation
 - i. Convergence
 - ii. Méthodes numériques

2- Simulation des détecteurs Pixels planaires a l'aide des outils SILVACO (0.6 jour)

- a. Introduction au projet LHC et ATLAS
- b. Introduction à la détection de particules avec des détecteurs à base de silicium
 - i. Pixel planaires / strips / diodes
 - ii. Pixels/strips 3D
 - iii. MAPS / DEPFET
 - iv. Électronique associé
- c. Pixels dans un environnement radioactif
- d. Simulation de pixels avec SILVACO
 - i. Simulation Pixel/Strip DC/AC
 - ii. Simulation des anneaux de garde
 - iii. Simulation de la stimulation par radiation ou lumière
 - iv. Optimisation des modèles
- e. Simulation du dommage par la radiation
 - i. Modélisation
 - ii. Implémentation dans ATLAS

3- Exemple pratique avec SILVACO (1.5 – 2 jours)

Objectifs : Comprendre et illustrer les possibilités de SILVACO à l'aide d'exemples de simulation d'applications

- a. Simulation d'une photodiode
 - i. Simulation DC
 - ii. LUMINOUS
- b. Simulation d'un MOSFET simple
 - i. Maillage
 - ii. Modélisation
 - iii. Simulation
 - iv. Extraction des paramètres
- c. Simulation d'un transistor bipolaire
 - i. Maillage
 - ii. Modélisation
 - iii. Simulation
 - iv. Extraction des paramètres
- d. Simulation thermique : Propagation de la chaleur en électronique-3D
 - i. La géométrie
 - ii. Le modèle
 - iii. Analyse
- e. Simulation 3D : Latchup dans une structure n-p-n-p
- f. Simulation SEU : SEU dans une diode
- g. EEPROM simulation
- h. Etc...