

PROGRAMME PEDAGOGIQUE DES TUTORIELS

Le programme de l'ATELIER propose une formation qui fournit les bases de connaissances pour une parfaite compréhension des exposés théoriques présentés au cours des sessions.

Les documents pédagogiques sont fournis sur format papier.

La formation se répartit sur cinq modules appelés TUTORIELS.

Elle est placée sous la responsabilité du Comité Pédagogique* et est conventionnée par l'organisme de formation ADERA, enregistré sous le numéro de déclaration d'activité 72 33 06982 33.

(* **Comité pédagogique** : **Frédéric BOURCIER**, CNES, Toulouse
Jean-Claude CLEMENT, THALES R&T
Yannick DESHAYES, IMS - Université de Bordeaux
Philippe PERDU, ANADEF

Christian MOREAU, DGA - Maîtrise de l'information
David TREMOUILLES, LAAS - CNRS
Nelly VALLET, TRIXELL - Moirans

L'inscription à la formation inclut et n'est pas dissociable de la participation aux sessions plénières des 4 journées de l'Atelier.

TUTORIEL 1

« Techniques d'observation, de l'optique à la microscopie électronique »

- **Date** : Mardi 5 juin 2018
- **Durée** : 2 heures
- **Intervenants** : **Frédéric BOURCIER**, CNES, Toulouse
Nelly VALLET, TRIXELL - Moirans
- **Public** : Ingénieurs, techniciens supérieurs, débutants ou souhaitant acquérir un nouveau savoir-faire dans les techniques de caractérisation optique et de microscopie électronique.
- **Objectif pédagogique** :
Mettre à niveau les connaissances, avoir un vocabulaire commun à tous et comprendre les principes utiles pour devenir un microanalyste.
- **Contenu pédagogique** :
Y-a-t-il un lien entre le grossissement d'un MEB et celui d'un microscope optique ? Dans les faits, aucun. C'est même le seul paramètre qui n'apporte rien

à votre expertise. Quels sont donc alors les paramètres universels et essentiels qui vont vous permettre de transformer vos analyses en véritables expertises ? Que signifient les notions de champ, pupille, résolution, diffraction, aberrations, champ clair, champ sombre, Nomarski sur un microscope optique ? Que se cache-t-il derrière les mots : optique électronique, pouvoir séparateur, électrons et profondeur de champ ?

Quel contraste allez-vous utiliser pour obtenir l'image parfaite et son interprétation adéquate ?

Nous vous proposons de faire le tour des paramètres physiques qui comptent réellement à travers les instruments que vous utilisez quotidiennement dans vos laboratoires. Nous verrons les spécificités de chacun d'eux, leur utilisation possible mais également leurs limites.

- **Outils et moyens pédagogiques** : exposés, illustrations des principes, discussions.

TUTORIEL 2

« Technologie VLSI et loi de Moore »

- **Date** : Mardi 5 juin 2018
- **Durée** : 3,5 heures
- **Intervenant** : **Christian MOREAU**, DGA - Maîtrise de l'information
- **Public** : Ingénieurs, techniciens supérieurs, enseignants chercheurs spécialistes de l'analyse de défaillance des composants électroniques.
- **Objectif pédagogique** :
Permettre une appropriation des évolutions technologiques au niveau des transistors CMOS. Connaître les étapes clés et le vocabulaire associé pour maîtriser les interactions avec les processus d'analyse de défaillances.
- **Contenu pédagogique** :
Nos systèmes électroniques sont constitués de produits avec des niveaux d'intégration hétérogènes décrivant la loi de Moore. Ce tutoriel s'adresse aux

personnes recherchant des connaissances de base en technologies CMOS ciblées sur les évolutions de process constatées sur les différentes générations technologiques. Les notions suivantes seront abordées sous forme de fiches didactiques pour préparer l'analyste à la compréhension de ses observations : définition du nœud technologique, siliciures, espaceurs, LDD, Ioff, effets MOS canaux courts, latch-up, HKMG, FinFET, PDSOI, FDSOI, multiple Vt, lowk, Damascene, silicium contraint, CMP Illustrations à partir de nombreuses photos corrélées avec l'impact électrique.

- **Outils et moyens pédagogiques** : exposés, retours d'expérience, discussions.

TUTORIEL 3

« Mécanismes de défaillance et fiabilité des VLSI »

- **Date** : Mercredi 6 juin 2018
- **Durée** : 1,5 heures
- **Intervenant** : Jean-Claude CLEMENT, THALES R&T
- **Public** : Concepteur de carte électronique, technologue composant, auditeur technique, responsable de projet. Toute personne travaillant dans le cadre du choix, la sélection, la fiabilité, l'analyse de défaillance des composants électroniques.
- **Objectif pédagogique** :
 - La compréhension des différents mécanismes de défaillance rencontrés sur les composants actuels de dernière génération.
 - La sensibilisation aux risques associés (taux de défaillance, durée de vie) à ces composants.
 - L'utilisation de méthodologies, d'outils, de tests permettant l'évaluation de ces composants.
- **Contenu pédagogique** :

Les technologies des circuits intégrés numériques ont fortement évolué ces dernières années pour plus de performances, plus d'intégration, moins de consommation. L'utilisation de matériaux performants (low K, High K, Air Gap),

l'évolution des finesses de gravure (45,28, 20, 14nm ...) et de technologies 3D (FinFet) ont permis ces progrès. Les anciennes technologies étaient réputées pour des durées de vie largement supérieures à 20 ans. Mais quelle est la fiabilité des composants d'aujourd'hui ? Taux de défaillance, durée de vie ? Fiabilité programmée ou maîtrisée ? Qu'en est-il ?

Au cours de ce tutoriel, nous présenterons les principaux mécanismes de défaillance (BTI, TDDB, EM, HCI, ...) appliqués aux technologies de dernières générations, la physique de ces mécanismes et leur modélisation. Des exemples de mise en application sur des FPGA et processeurs, les méthodes de mesure et une revue des résultats disponibles seront présentés.

Nous visiterons également le grand monde des mémoires et leur fiabilité (SRAM, SDRAM, Flash NOR, Flash NAND /SLC /MLC, MRAM). Nous examinerons le fonctionnement, les comportements et les méthodes utilisées pour améliorer leur durée de vie de ces composants et particulièrement des mémoires Flash, largement utilisées dans les disques durs SSD et les clés USB.

- **Outils et moyens pédagogiques** : *Synthèse des mécanismes de défaillance à l'aide d'une revue des dernières données bibliographiques publiées. Présentation d'études de cas.*

TUTORIEL 4

« Composants de puissance émergents : SiC, GaN »

- **Date** : Jeudi 7 juin 2018
- **Durée** : 1,5 heures
- **Intervenants** : Christian MOREAU, DGA - Maîtrise de l'information
David TREMOUILLES, LAAS - CNRS
- **Public** : Ingénieurs, techniciens supérieurs, enseignants chercheurs
- **Objectif pédagogique** :

Mettre à niveau les connaissances du public sur les technologies des composants de puissance de nouvelle génération à grand gap. Différences avec le monde Silicium.
- **Contenu pédagogique** :

Les composants de puissance à base de SiC ou GaN commencent à pénétrer

notre environnement pour remplacer les MOSFET silicium dans les applications d'électronique de puissance. Pourquoi et comment ? Au travers de ces 2 questions, nous visiterons les aspects liées aux matériaux, les spécificités des process et les mécanismes de défaillance particuliers de ces technologies. Quelques exemples de notions développées: SiC 4H ou 6H, hétérojonction AlGaN/GaN, effets de pièges, pipes, Ron dynamique, dislocations, zone de drift, tenue en tension, Pgate, sensibilité ESD,...). Ce tutorial s'adresse en priorité aux personnes recherchant les bases sur les technologies SiC et GaN sans traiter le cas des applications de conversion et en abordant succinctement le panorama industriel et les produits associés (diodes Schottky et JBS, MOSFET, JFET, HEMTs).

- **Outils et moyens pédagogiques** : *exposés, retours d'expérience, discussions.*

TUTORIEL 5

« Diagnostic et signature électrique des structures élémentaires »

- **Date** : Vendredi 8 juin 2018
- **Durée** : 1,5 heures
- **Intervenants** : Yannick DESHAYES, Laboratoire IMS
Philippe PERDU, ANADEF
- **Public** :

Ingénieurs et techniciens ayant à effectuer des caractérisations électriques de composants électroniques, des analyses de défaillances ou souhaitant en savoir plus sur le diagnostic électrique de ces composants. Une connaissance des bases de l'électronique est souhaitable pour profiter pleinement de cette formation courte.
- **Objectif pédagogique** :

Donner aux participants les clefs permettant de lier les différents aspects physiques et électriques du modèle des diodes, à leur comportement et à leur défaillance. Cette approche transversale et pluridisciplinaire (physique du solide, mesures électriques, mécanismes de défaillance, modélisation) offre aux participants une vision globale leur permettant de mieux utiliser le diagnostic électrique dans le cadre de leurs activités.
- **Contenu pédagogique** :

Les composants et dispositifs électroniques sont généralement réalisés à base de structures élémentaires comme la jonction PN. Cet élément très simple d'un point de vue structurel est source d'interrogation quant à son fonctionnement de

base, aux mécanismes de défaillance et aux signatures électriques et physiques associées.

Le tutoriel présente les différentes fonctions adressées par la jonction PN ou diode qu'elle soit utilisée seule ou bien dans un composant plus complexe : transistor bipolaire, diode de protection, diode technologique caisson substrat ...

Dans un second temps, la physique de la jonction PN idéale couplée au modèle électrique sera présentée ainsi que le relevé et les moyens de mesures de la courbe I(V) du courant I en fonction de la tension V. Nous montrerons ensuite l'impact de la température sur le fonctionnement de la diode ainsi que sur sa caractéristique électrique. Puis nous comparerons ce modèle théorique aux caractéristiques réelles pour en extraire les éléments parasites (courant de fuites, tension de claquage, courant de surface, effet Schottky,...).

Une partie sera consacrée aux signatures de défaillance. Dans cette partie, nous établirons qualitativement le lien entre les mécanismes de défaillances de la diode et les relevés de la courbe I(V) et en s'appuyant sur le modèle théorique et les informations technologiques, nous prédéterminerons la zone affectée par un défaut. Pour terminer, ce tutoriel s'intéressera aux diodes spécifiques telles que les diodes PIN, avalanche, Schottky, de puissance (roulement et redressement).

- **Outils et moyens pédagogiques** : *La formation s'appuie sur une présentation didactique avec des exemples concrets et un support de formation. Des expérimentations interactives sur ordinateur illustreront les différents éléments de cette présentation.*