

Présentation des projets financés au titre de l'édition 2009 du  
Programme « Nano-Innov / RT »

| <b>ACRONYME et titre du projet</b>  | <b>Page</b> |
|---|-------------|
| <b>CAPUCINE</b> : Capteur Multi-fonction à Nanofil de Silicium  | 2-3         |
| <b>DIAGRAM</b> : Détection-identification de bactéries par spectrométrie Raman SERS sur surface nanostructurée (DIAGnostic RAMan) | 4-5         |
| <b>FLAIR</b> : Système de capteurs physico-chimiques nanostructurés intelligents  | 6-7         |
| <b>NANOCOMM</b> : Réseaux de Nano-objets communicants reconfigurables   | 8-10        |
| <b>NaWAA4</b> : Pilote intégré de production de composites 1D et membranes à base de Nanotubes de Carbone sur surfaces A4         | 11-12       |
| <b>SPIN</b> : Spintronique pour l'Innovation par les Nanotechnologies   | 13-14       |
| <b>SubNanoScope</b> : Microscope et machine d'écriture sub-nanométrique   | 15-16       |
| <b>THERMOINNOV</b> : Substrats composites pour thermogénérateurs grande surface   | 17-18       |
| <b>ToPoGaN1</b> : Démonstrateur transistor de puissance à base de GaN épitaxié sur substrat Si grand diamètre                     | 19-20       |

Titre du projet

**CAPUCINE : Capteur Multi-fonction à Nanofil de Silicium**

Résumé

Ce programme de recherche industrielle vise la réalisation d'un capteur 3A3M (accéléromètre 3 axes et magnétomètre 3 axes), basé sur un concept innovant et une technologie de type microélectronique avancée utilisant des nanofils silicium. L'objectif principal de cette étude est la conception et la réalisation technologique de capteurs 3A3M de très petites dimensions, visant un coût inférieur aux capteurs accéléromètres capacitifs classiques et aux capteurs magnétiques à effet Hall, et avec des performances nettement améliorées, notamment vis-à-vis de la consommation, et de la simplicité d'assemblage. Nous nous plaçons avant tout dans une approche visant les marchés grand public comme la capture de mouvement pour des applications relatives à la santé, les téléphones portables, le sport voire les jeux... Un démonstrateur sera conçu, réalisé et caractérisé durant ce projet, visant les marchés précédemment cités, et dont les spécifications sont très proches.

L'un des points forts de cette étude réside dans l'originalité du concept proposé, consistant à réaliser des capteurs multifonctionnels combinant corps d'épreuve de dimensions micrométriques, et jauge de détection de dimensions nanométriques. Ce concept, breveté par le Leti, permet une diminution sensible de la taille des capteurs par rapport à une solution MEMS, permettant d'intégrer 3 axes de mesures au lieu d'un dans un encombrement équivalent. Dans ce projet, on cherche de plus à intégrer dans un même procédé de réalisation des capteurs de mesures différentes (accélération et champ magnétique) grâce à l'intégration de couches magnétiques dans un procédé de fabrication de type micro-électronique

Le partenariat mis en place inclut des laboratoires de recherche et une start-up et permet de couvrir toute la chaîne de cette étude depuis la conception jusqu'à la caractérisation métrologique, en passant par les développements matériaux, la réalisation technologique, l'électronique de traitement et le logiciel de reconstitution d'orientation. Ce partenariat fournit toute la crédibilité nécessaire à la bonne avancée de ce projet, avec des acteurs de la recherche reconnus dans leur

domaine (Institut Néel, SPEC, IM2NP, LETI), et une start-up spécialisée dans les algorithmes de reconstitution de mouvement et apportant la vision marché et applicative.

**Partenaires**

CEA-Institut LETI (coordinateur)  
Institut Néel  
Institut des Matériaux, de Microélectronique et des  
Nanosciences de Provence  
MOVEA  
Service de physique de l'état condensé (URA  
CEA/DSM/IRAMIS - CNRS)

**Coordinateur**

Patrice REY– CEA-Institut LETI  
patrice.rey@cea.fr

**Aide de l'ANR**

1769000 €

**Début et durée**

Octobre 2009 – 15 mois

**Référence**

ANR-09-NIRT-001

## Résumé

La détection-identification des bactéries se fait aujourd'hui par des méthodes basées sur la croissance sur des milieux plus ou moins sélectifs. Ces méthodes de référence ont l'inconvénient de durer 2 à 3 jours, et le besoin de méthodes rapides (quelques heures) est crucial autant pour les patients qui bénéficieraient immédiatement du traitement le mieux ciblé, que pour la santé publique, en évitant l'apparition de résistances aux antibiotiques lorsque les pathogènes sont exposés à un traitement inapproprié.

La spectrométrie Raman classique est une technique particulièrement bien adaptée à ce problème, car: 1- l'identification est possible sur de très faibles quantités de biomasse, jusqu'à la bactérie unique, ce qui ouvre la voie à l'analyse directe de l'échantillon où le pathogène peut être mélangé à la flore commensale ou à des contaminations, 2- les bactéries ne sont pas affectées par la mesure, et restent donc disponibles pour un antibiogramme, 3- il y a un espoir d'observer l'effet précoce d'un antibiotique par une étude cinétique.

Cependant, le signal Raman est très faible, ce qui impose une instrumentation coûteuse. L'effet Raman exalté en surface (SERS) est un moyen d'amplifier par plusieurs ordres de grandeur le signal Raman utile, ce qui peut conduire 1-à une instrumentation bien plus simple, 2-en réduisant les signaux parasites du substrat, à utiliser des matériaux courants et peu chers.

L'effet SERS a été observé et décrit dans la littérature sur des bactéries avec des nanoparticules d'argent, mais la grande hétérogénéité de distribution de ces particules dégrade gravement la reproductibilité du procédé.

L'utilisation d'un substrat portant des nano-structures métalliques nous semble pouvoir répondre à cette objection, car la présence d'un motif répétitif dense doit permettre d'obtenir un spectre SERS de bactéries quelles que soient leurs positions sur le composant.

Nous proposons donc ici:

- 1- de rechercher une configuration de substrat/surface nanostructurée optimisée pour fournir un bon spectre SERS de bactéries idéalement isolées, ou au moins en petit nombre. Un composant pour la détection-identification de bactéries sur milieu de culture sera basé sur cette configuration,
- 2- de valider sur une vingtaine d'espèces bactériennes

sélectionnées pour leur représentativité, que les spectres SERS sur le composant défini en 1-, associés à un traitement de signal approprié permettent bien une identification,

- 3- de concevoir l'instrumentation dédiée à ce composant (microscope-spectromètre, détecteur, algorithmes) qui pourra servir de point de départ à un produit pour le diagnostic en microbiologie, et d'autres applications, par exemple en prévention et sécurité biologique.

Ce partenariat regroupe BioMérieux, industriel de premier plan du diagnostic in vitro, qui apporte sa compétence en microbiologie clinique et industrielle, un laboratoire académique, l'UTT/LNIO spécialisé dans la technique du SERS, le CEA-LETI (Grenoble) pour ses capacités en nano-fabrication industrielle, et où l'équipe commune CEA-BioMérieux a acquis une expertise en méthodes physiques d'identification des bactéries, le CEA-LIST (Saclay) spécialisé en algorithmie, et Horiba-Jobin-Yvon, leader en instrumentation pour le Raman. La longue pratique de l'équipe commune CEA-BioMérieux garantit une compréhension immédiate entre biologistes et physiciens, dont nous savons qu'elle est un élément critique de succès pour un programme de 15 mois seulement.

**Partenaires**

BioMérieux - Centre Christophe Mérieux (coordinateur)  
CEA-Institut LETI  
HORIBA Jobin Yvon S.A.S.  
Institut Charles DELAUNAY  
CEA-Institut LIST

**Coordinateur**

Denis LEROUX – BioMérieux - Centre Christophe Mérieux  
denis.leroux@eu.biomerieux.com

**Aide de l'ANR**

1348000 €

**Début et durée**

Octobre 2009 – 15 mois

**Référence**

ANR-09-NIRT-002

**Résumé**

La présence dans les environnements intérieurs de nombreuses substances et agents (chimiques, biologiques et physiques) (géo)toxiques, infectants ou allergisants à effets pathogènes n'est plus à démontrer. La détection de ces substances dans l'air intérieur est devenue de fait une préoccupation sanitaire majeure pour nos sociétés.

Il y a donc un véritable besoin de dispositifs d'analyse capables de détecter et mesurer en continu l'ensemble des polluants atmosphériques. Les dispositifs actuels (spectromètres à mobilité d'ions, spectromètre de masse, spectromètre à laser à cascade quantique) sont coûteux, difficilement transportables et nécessitent une expertise de l'utilisateur. Aussi, le développement de capteurs de petite taille potentiellement peu coûteux (coût inférieur à 100k€) et délivrant un message simple pour l'utilisateur ouvrirait la voie à des dispositifs autonomes qui pourraient être déployés facilement dans les lieux publics et même, à terme, chez des particuliers.

Le projet FLAIR ambitionne de répondre à ce besoin par le développement d'un démonstrateur autonome permettant d'effectuer des mesures en situation environnementale réelle. Plus précisément FLAIR a pour objectif de réaliser un capteur chimique embarqué multigaz capable de détecter sélectivement des polluants atmosphériques pouvant être présents à l'état de traces. Les polluants visés sont quatre des sept substances définies comme « hautement prioritaires » par l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur. Il s'agit du formaldéhyde, de l'acétaldéhyde, du benzène et du phtalate de di-éthylhexyle (ou DEHP).

Ce capteur repose sur l'utilisation de polymères fluorescents hautement sensibles subissant une extinction de leur émission en présence des molécules cibles. Afin d'améliorer la limite de détection, les polymères fluorescents seront déposés sur un substrat nanostructuré. La sélectivité du système sera assurée par l'utilisation d'un réseau de 16 plots de polymères différents.

La réponse aux polluants de ces 16 polymères constituera une "empreinte olfactive" qui grâce à un traitement informatique adéquat permettra de reconnaître le polluant. Le projet proposé s'appuie sur les résultats de travaux antérieurs, effectués dans le cadre d'un projet Européen (Projet DETEX - NMP2-CT-2003-505908) qui visait à démontrer la faisabilité d'un nouveau concept de capteurs chimiques dédiés à la détection en phase gaz de nitroaromatiques et d'une thèse CIFRE (Thales TRT

« Synthèse et caractérisation photophysique de polymères fluorescents à base de polysiloxane pour la détection de composés nitroaromatiques » soutenue le 4 avril 2008, ENS de Cachan).

**Partenaires**

CEA-Institut LIST (coordinateur)  
Thales Research & Technology  
Laboratoire "Chimie des polymères "  
Laboratoire "Photophysique et Photochimie Supramoléculaires et Macromoléculaires"

**Coordinateur**

Vesna SIMIC – CEA-Institut LIST  
vesna.simic@cea.fr; matthieu.hamel@cea.fr

**Aide de l'ANR**

1571000 €

**Début et durée**

Octobre 2009 – 15 mois

**Référence**

ANR-09-NIRT-003

**Résumé**

Le projet « NanoComm » s'inscrit dans la problématique des réseaux de capteurs sans fils de nouvelles générations qu'on appelle aussi « Internet des objets ». Le projet NanoComm vise à déployer des réseaux de capteurs ultra miniaturisés présentant des consommations les plus faibles possibles afin de garantir des durées de vie les plus importantes possibles et pouvant être localisés dans des endroits difficilement accessible, voire inaccessible, avec des technologies conventionnelles. Compte tenu des objectifs du centre d'intégration et du positionnement de Toulouse dans le domaine de l'aéronautique et du spatial, le projet « NanoComm » va se concentrer sur les réseaux des capteurs pour l'aéronautique. Le domaine de l'aéronautique occupe une place particulière car le déploiement des réseaux de capteurs sans fils pour des applications de maintenance se traduira par une baisse du coût des billets d'avion entre 3% et 12%. Aujourd'hui, le déploiement des capteurs est limité par les connexions filaires qui se traduisent par un excès de poids et de consommation et qui pose des problèmes d'installation.

On estime que pour exploiter les potentialités des réseaux de capteurs sans fils sur une plateforme avionique, un nombre entre 1000 et 4000 capteurs existants pourraient potentiellement bénéficier d'une liaison sans fil sur avion. Outre les capteurs existants dont la majeure partie effectue des mesures en vol utiles à la navigation, l'introduction des liaisons sans fils permettra de multiplier l'usage des capteurs pour optimiser la maintenance, pour obtenir des données sur « l'historique » vécu par les pièces avion ce qui permettra d'envisager des recyclages de certaines pièces et qui diminuera encore les coûts. Les réseaux de capteurs sans fils seront également utiles dans d'autres applications comme les essais en vol pour le développement des nouvelles générations d'aéronefs et permettront l'introduction durant la vie d'un programme avion de nouveaux capteurs pour répondre à l'évolution des besoins des systèmes embarqués et fonctions supportées (sans nécessiter un nouveau câblage). Donc nous avons identifié un fort potentiel de développement économique.

Le projet NanoComm va explorer les potentialités offertes par les nanotechnologies et l'impact qu'elles auront sur les capteurs et les architectures matérielles et logicielles des futurs réseaux de capteurs sans fil, qui pourront se traduire par des effets différenciateurs importants sur les futurs produits commerciaux. D'un point de vue méthodologique,



nous allons nous intéresser à deux types d'impact majeurs associés aux nanotechnologies. Le premier type que nous appellerons « Nano-enabler » vise à explorer les nanotechnologies comme initiateur de nouveaux capteurs miniaturisés ainsi que de nouvelles technologies pour des antennes sur substrat souple. Le second type que nous appellerons « Nano-Improved » vise à utiliser les nanotechnologies pour créer des circuits miniaturisés innovantes, pour atteindre des fréquences plus élevées avec des potentialités intéressantes pour les architectures sans fil, pour minimiser la consommation et pour envisager des intégrations au niveau système incluant les couches MAC pour développer des architectures robustes vis-à-vis des contraintes aéronautiques. Le projet NanoComm apporte ses innovations sur chaque partie constituant le réseau des nano-objets communicants reconfigurables: - le développement des capteurs innovants à base de nanoparticules sur substrat souple par fonctionnalisation de surface. Deux types de nano-capteurs et leur conditionnement de signal associé seront réalisés en utilisant des nanotechnologies; -la conception et la réalisation des architectures de communication sans fil reconfigurables en fonction du besoin de l'application, faible consommation et faible coût en utilisant des technologies nanométriques de type CMOS 65nm; -l'intégration système pour assembler les différents éléments constituant le nano-objet communicant : capteurs, transceivers, antenne. Deux solutions innovante seront développées en parallèles : l'intégration sur substrat souple et l'intégration sur une nappe filaire qui permettra d'envisager une insertion dans des matériaux composites; -l'architecture réseau et la prise en compte des contrainte aéronautiques.

#### Partenaires

Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (coordinateur)  
 CEA- Institut LETI  
 Laboratoire de Physique et Chimie des Nano-Objets  
 Centre Inter-universitaire de Recherche et d'Ingénierie des MATériaux  
 EADS France - Département Innovation Works  
 NANOMADE-CONCEPT  
 Laboratoire de l'intégration, du matériau au système

#### Coordinateur

Daniela DRAGOMIRESCU – Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes  
 daniela@laas.fr

#### Aide de l'ANR

2262000 €

#### Début e durée

Octobre 2009 – 15 mois



## Titre du projet

# NaWAA4 : Pilote intégré de production de composites 1D et membranes à base de Nanotubes de Carbone sur surfaces A4

## Résumé

Le projet vise à démontrer l'industrialisation d'une nouvelle famille de matériaux qui intègrent au cœur de leurs structures des tapis de nanotubes de carbone alignés. Les NanoTubes de Carbone (NTC) suscitent depuis leur découverte en 1991, un énorme intérêt dans le monde de la recherche autant fondamentale qu'appliquée car leurs propriétés sont exceptionnelles. Si on tire profit, en plus de leurs propriétés individuelles, d'un arrangement spécifique, par exemple le fait qu'ils puissent être massivement alignés, on apporte des propriétés nouvelles (mécaniques, thermiques, nanofluidiques) qui en font des matériaux uniques.

L'enjeu du projet est de franchir un saut en termes d'échelle et de démonstration d'industrialisation pour ces nouveaux types de matériaux très prometteurs. Il s'agit de mettre en place les briques technologiques indispensables et de les assembler au sein de ce qui pourrait préfigurer une véritable plateforme de fabrication de nouvelles applications basées sur l'emploi de tapis de nanotubes de carbone alignés. Le projet se focalise sur les trois étapes qui constituent le « chemin critique » de la technologie : croissance, imprégnation et amincissement. Il réalisera à la fois un pilote de démonstration d'une production quasi continue de tapis de NTCs sur des grandes surfaces format A4) et proposera deux exemples d'objets technologiques :

- o Des nanocomposites structuraux 1D pour l'industrie aéronautique
- o Des membranes nanoporeuses à base de tapis de NTCs alignés pour l'ensemble des applications de filtration

Les deux applications présentent un tronc commun fort (croissance de nanotubes alignés et imprégnation) et en même temps des spécificités propres (phase d'amincissement pour les membranes). Lever les verrous de ces deux applications en même temps permettra de couvrir une gamme large et versatile d'applications (différents substrats, différentes technologies d'imprégnation et un post-traitement de mise en forme).

La réalisation de tels objets technologiques avec des tapis de nanotubes alignés en masse constituerait ainsi une première mondiale. Le projet développera et utilisera les capacités des plateformes intégratrices de deux centres d'intégration Nano-Innov / RT (Saclay et Toulouse). Il vise très explicitement un transfert de technologie si les conditions éco-technico-environnementales en démontrent la valeur économique.

**Partenaires** CEA-Institut Rayonnement Matière de Saclay (coordinateur)  
Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes  
Laboratoire de Physique des Solides  
Pegastech SA  
EADS France - Département Innovation Works

**Coordinateur** Pascal BOULANGER – CEA-Institut Rayonnement Matière de Saclay  
pascal.boulanger@cea.fr

**Aide de l'ANR** 1405000 €

**Début et durée** Octobre 2009 – 15 mois

**Référence** ANR-09-NIRT-005

**Résumé**

Ce programme de recherche industrielle vise la réalisation d'un capteur 3A3M (accéléromètre 3 axes et magnétomètre 3 axes), basé sur un concept innovant et une technologie de type microélectronique avancée utilisant des nanofils silicium. L'objectif principal de cette étude est la conception et la réalisation technologique de capteurs 3A3M de très petites dimensions, visant un coût inférieur aux capteurs accéléromètres capacitifs classiques et aux capteurs magnétiques à effet Hall, et avec des performances nettement améliorées, notamment vis-à-vis de la consommation, et de la simplicité d'assemblage. Nous nous plaçons avant tout dans une approche visant les marchés grand public comme la capture de mouvement pour des applications relatives à la santé, les téléphones portables, le sport voire les jeux... Un démonstrateur sera conçu, réalisé et caractérisé durant ce projet, visant les marchés précédemment cités, et dont les spécifications sont très proches.

L'un des points forts de cette étude réside dans l'originalité du concept proposé, consistant à réaliser des capteurs multifonctionnels combinant corps d'épreuve de dimensions micrométriques, et jauge de détection de dimensions nanométriques. Ce concept, breveté par le Leti, permet une diminution sensible de la taille des capteurs par rapport à une solution MEMS, permettant d'intégrer 3 axes de mesures au lieu d'un dans un encombrement équivalent. Dans ce projet, on cherche de plus à intégrer dans un même procédé de réalisation des capteurs de mesures différentes (accélération et champ magnétique) grâce à l'intégration de couches magnétiques dans un procédé de fabrication de type micro-électronique

Le partenariat mis en place inclut des laboratoires de recherche et une start-up et permet de couvrir toute la chaîne de cette étude depuis la conception jusqu'à la caractérisation métrologique, en passant par les développements matériaux, la réalisation technologique, l'électronique de traitement et le logiciel de reconstitution d'orientation. Ce partenariat fournit toute la crédibilité nécessaire à la bonne avancée de ce projet, avec des acteurs de la recherche reconnus dans leur domaine (Institut Néel, SPEC, IM2NP, LETI), et une start-up spécialisée dans les algorithmes de reconstitution de mouvement et apportant la vision marché et applicative.

**Partenaires**

Institut d'Electronique Fondamentale (coordinateur)  
CEA-Institut LETI

Service de physique de l'état condensé (URA  
CEA/DSM/IRAMIS - CNRS)  
Laboratoire d'Informatique, Robotique et Microélectronique de  
Montpellier  
CEA-Institut LIST  
Laboratoire "SPINtronique et technologie des composants"  
(URA CEA/DSM/INAC - CNRS)  
Unité mixte de service "Circuit Multi-Projets"  
Laboratoire des Technologies de la Microélectronique  
Crocus Technology  
MENTA SAS  
3D-PLUS

**Coordinateur** Claude CHAPPERT – Institut d'Electronique Fondamentale  
claude.chappert@u-psud.fr

**Aide de l'ANR** 2624000 €

**Début et durée** Octobre 2009 – 15 mois

**Référence** ANR-09-NIRT-009

**Résumé**

La technologie des Faisceaux d'Ions Focalisés est apparue il y a une trentaine d'années. Les chercheurs français furent parmi les pionniers de cette technologie produisant un effort intense, durant les années 70, sur la physique des sources d'ions de forte brillance et spécialement les Sources d'Ions à Métal Liquide.

Actuellement, les systèmes utilisant la technologie des Faisceaux d'Ions Focalisés (FIB) sont capables de générer une sonde ionique, généralement du Gallium, aussi fine que quelques nanomètres.

De manière générale, la technologie FIB est associée à la microfabrication et constitue une technologie "clé" pour l'édition de circuits, l'analyse de défauts et la préparation d'échantillons minces (TEM, Auger, ...). Dans le secteur de la recherche et du développement, le FIB est extrêmement efficace dans les domaines du dépôt en trois dimensions ainsi que la gravure à l'échelle de quelques nanomètres.

En outre, les industriels et les laboratoires de recherche ont atteint les limites théoriques du FIB utilisant une source d'ions à métal liquide. La majorité des technologies émergentes comme les nouveaux matériaux pour applications énergétiques, la nanoélectronique, les nanobiotechnologies ne pouvant être élaborés en utilisant les techniques de lithographie classiques nécessitent une évolution matérielle majeure vers un nouveau standard de fabrication présentant l'avantage de pouvoir structurer et visualiser un échantillon, à l'échelle de quelques atomes, avec un même outil. Ces enjeux nécessitent donc l'accès à un nouveau type d'outil à faisceau d'ions focalisés utilisant une source d'ions à plus forte brillance que la source d'ions à Métal Liquide. Récemment, un prototype de microscope utilisant des ions Hélium [Alis- Zeiss 2007] a été développé et a démontré une fantastique avancée technologique. Les images sub-nanométriques montrées par cet instrument prouvent que les sources « Gas Field Ion Source (GFIS) » utilisées par cet outil sont les sources du futur.

Le but de ce projet est donc de calculer, réaliser et tester un prototype d'outil à Faisceaux d'ions focalisés utilisant une source GFIS ayant une très forte brillance et permettant d'atteindre une résolution sub-nanométrique. Cet outil permettra d'obtenir une meilleure résolution, en imagerie et en *patterning*, que les systèmes actuellement existants. Il permettra notamment la modification de circuits électroniques à l'échelle sub-nanométrique avec différents types d'ions ce qui n'a, à l'heure actuelle, jamais été fait.

Ce programme innovant constituera une opportunité unique de créer une action commune dans le domaine des faisceaux d'ions focalisés cryogéniques et d'évaluer le potentiel structurant de cet outil à travers un des challenges les plus disputés des nanobiotechnologies : la fabrication de nanopores artificiels en quantité et à un coût satisfaisant les exigences industrielles.

D'un point de vue de la biophysique, un des points les plus importants concerne la fabrication de nanopores isolés qui constituent le cœur d'un système de détection et de manipulation de moteurs ADN biomoléculaires. Ceci est un enjeu scientifique majeur et nous proposons donc d'exploiter le potentiel de notre outil à faisceau d'ions à très haute-résolution afin de fabriquer des nanopores ayant des tailles inférieures à 1nm.

D'un point de vue commercial, les laboratoires de recherche sur les nanosciences ainsi que les industries du semi-conducteur sont des utilisateurs potentiels de cette technologie FIB sub-nanométrique.

**Partenaires**

Laboratoire de Photonique et de Nanostructures  
(coordinateur)  
Institut Néel  
Laboratoire de Physique de la Matière Condensée et Nanostructures  
ORSAY PHYSICS

**Coordinateur**

Jacques GIERAK – Laboratoire de Photonique et de Nanostructures  
jacques.gierak@lpn.cnrs.fr

**Aide de l'ANR**

1675000 €

**Début et durée**

Octobre 2009 – 15 mois

**Référence**

ANR-09-NIRT-006



**Résumé**

Dans un contexte d'économie d'énergies, la thermoélectricité connaît aujourd'hui un regain d'intérêt pour des applications de génération de puissance. Basé sur l'effet Seebeck, ce phénomène physique permet de générer de l'électricité à partir d'un gradient de température maintenu aux bornes de jonctions PN de matériaux thermoélectriques. La récente rupture obtenue dans les performances des matériaux thermoélectriques par l'introduction de la nanostructuration a fortement contribué à accélérer la recherche dans ce domaine, ouvrant la porte à de nouvelles applications industrielles dans le secteur des NTIC. Les applications de récupération d'énergie dans les systèmes informatiques et dans les composants multimédias nécessitent une technologie innovante de thermogénérateur grande surface couplée à un convertisseur DC-DC à haut rendement.

Dans cette perspective, le projet THERMOINNOV propose de développer un générateur thermoélectrique (TEG) intégré dans l'épaisseur du substrat plastique par 2 voies présentant un compromis performance - coût - délai de mise sur le marché différent : technologie de TEG à base de matériaux thermoélectriques nanostructurés intégrés après singularisation dans une matrice polymère (voie 'TEG massif') ; technologie TEG à base d'encre thermoélectrique imprimée dans des substrats plastiques percés (voie 'TEG imprimé'). Un convertisseur DC-DC à basse tension d'entrée adapté à ces TEG sera conçu.

Nous proposons par l'utilisation de matériaux massifs et nanostructurés à la fois, d'égaliser les performances des générateurs thermoélectriques de l'état de l'art, et d'en réduire les coûts en ciblant des modules d'épaisseur inférieure, qui présentent le meilleur compromis coût performance. Par l'utilisation des technologies d'impression, nous démontrerons des performances égales à 50% de l'état de l'art, avec des coûts réduits de moitié et une compatibilité grande surface.

Des thermogénérateurs de preuve de concept seront réalisés et testés dans des conditions représentatives des 2 applications visées (récupération d'énergie serveur informatique et composant multimédia). Un plan de valorisation industrielle basé sur le modèle de performance validé des 2 approches technologiques TEG 'massif' et 'imprimé' et leurs analyses de coût sera établi afin de définir les orientations techniques et stratégiques (identification des acteurs de la chaîne de la valeur) nécessaires à la création à moyen terme de valeur et d'emplois.

**Partenaires**

CEA-Institut LITEN (coordinateur)  
ST-Ericsson (Grenoble) SAS  
Laboratoire "Chimie des Polymères Organiques"  
Centre Sciences des Matériaux et des Structures de l'Ecole  
Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne  
Institut de Chimie et des Matériaux Paris-Est  
Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des  
matériaux  
BULL SAS - Etablissement d'Echirolles

**Coordinateur**

Julia SIMON – CEA-Institut LITEN  
patrice.rey@cea.fr

**Aide de l'ANR**

1451000 €

**Début et durée**

Octobre 2009 – 15 mois

**Référence**

ANR-09-NIRT-007

## Titre du projet

# ToPoGaN1 : Démonstrateur transistor de puissance à base de GaN épitaxié sur substrat Si grand diamètre

## Résumé

Contexte : Le domaine de l'énergie représente pour le 21<sup>e</sup> siècle un axe de développement autour duquel se focalisent dorénavant les recherches tant en termes économiques, industriels qu'environnementaux. La baisse inéluctable des énergies fossiles, la prise en considération de plus en plus importante des risques liés à l'émission de gaz à effet de serre sur le climat et à la pollution due aux gaz résiduels issus de la combustion des hydrocarbures et leurs conséquences sur la santé, induisent dans le monde un effort important pour développer la production d'énergie alternative et réduire la consommation énergétique par les utilisateurs. Ainsi, en France comme ailleurs, les évolutions du secteur de l'énergie sont en train de générer des changements majeurs au sein des marchés utilisateurs. Le passage à la traction hybride et électrique pour les transports, le couplage des énergies renouvelables au réseau électrique, la généralisation dans l'habitat des systèmes motorisés, l'introduction de l'éclairage basse tension et la convergence « bâtiment-transport » contribueront de façon significative à l'efficacité énergétique et à la diminution des rejets de CO<sub>2</sub>. Ils vont en outre, nécessiter une gestion performante des ressources, du stockage et de l'utilisation de l'énergie.

Ce passage est largement conditionné par la maîtrise des composants intégrés de puissance. Dans ce contexte, le Nitrure de Gallium (GaN) est le matériau grand gap aujourd'hui reconnu comme un candidat très sérieux pour remplacer le silicium (Si) et le carbure de silicium (SiC) pour les marchés des composants de puissance à forts volume :

- a) ses performances en rendements, fréquence de commutation et température de fonctionnement sont largement meilleures que celles du silicium,
- b) le coût de fabrication des composants lié à la taille des substrats Silicium sur lesquels il peut être mis en œuvre est largement inférieur à celui du SiC.

Vision à 5 ans : l'ambition de la filière mise en place en France et dont le projet Nano-Innov TOPOGAN1 sera la rampe de lancement est de démontrer la faisabilité industrielle de composants latéraux et verticaux *normally-on* (normalement passants) et *normally-off* (normalement non passants) capables de tenir des tensions de 600V à 1200V pour des courants de 200A et 100A respectivement, fabriqués sur des substrats Silicium de 6 pouces (150 mm).

Objectif à 15 mois :

Réaliser la démonstration de transistors fonctionnels 600V, 10 A sur filière complète 6 pouces (150 mm) démontrant la capacité à fabriquer des composants avec les rendements suffisants pour ouvrir de vraies perspectives industrielles.

- 1- Mettre en place une filière complète de procédé de fabrication de transistors de puissance à bas de nitrure de gallium sur substrats silicium de 150mm.
- 2- Développer les procédés et techniques d'épitaxie par MOCVD de multicouches nanométriques à base de matériau AlGaN permettant de compenser les écarts de paramètres de maille des deux matériaux de base que sont le substrat Silicium et le matériau grand gap GaN.
- 3- Maîtriser l'homogénéité de ces couches à l'échelle de Wafers 6 pouces alors que la plupart des procédés sont aujourd'hui réalisés sur substrats 2, 3 ou 4 pouces.
- 4- Assurer la réalisation de couches épitaxiées de 2 ou 3  $\mu\text{m}$  d'épaisseur sans introduction d'une flèche trop importante sur le wafer permettant en particulier la réalisation des étapes suivantes de lithographie pour la réalisation des étapes technologiques de fabrication du transistor de puissance. Ainsi une flèche inférieure à 50 $\mu\text{m}$  est nécessaire pour l'alignement de wafers de 150 mm.
- 5- Développer de nouveaux procédés technologiques, pour la réalisation d'architectures de transistors à base de grille MIS et l'obtention de couches de passivation fiables, permettant de répondre aux spécifications poussées en terme de densités de courant, tenue en tension et fiabilité.

#### Partenaires

Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes (coordinateur)  
Freescale Semiconducteurs SAS  
SOITEC Silicon On Insulator Technologies  
Alcatel Thales III-V Lab  
CEA-Institut LETI  
Centre de Recherche sur l'HétéroEpitaxie et ses Applications  
Laboratoire de Génie Electrique de Grenoble  
Laboratoire des Technologies de la Microélectronique

#### Coordinateur

Frédéric MORANCHO – Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes  
morancho@laas.fr

#### Aide de l'ANR

2895000 €

#### Début et durée

Octobre 2009 – 15 mois

#### Référence

ANR-09-NIRT-008