



Université Lille Nord de France
Pôle de Recherche
et d'Enseignement Supérieur

Ecole doctorale régionale Sciences Pour l'Ingénieur Lille Nord-de-France - 072



Titre : Système de détection multi-spectrale large bande à base de matériaux semi-conducteurs ZnO nanostructurés

**Financement prévu : Université Valenciennes ou Région NpC
Cofinancement éventuel : DGA**

(Co)-Directeur de thèse : DOGHECHE Elhadj
E-mail : elhadj.dogheche@univ-valenciennes.fr
Co-directeur de thèse : DECOSTER Didier
E-mail : didier.decoster@iemn.univ-lille1.fr

Laboratoire : IEMN-UMR 8520
Equipe : CSOA

Descriptif :

L'objectif de ce travail de thèse concerne l'étude et la démonstration d'un dispositif d'imagerie basé sur le concept nouveau de détection multi-spectrale large bande, à partir de matériaux semi-conducteurs nanostructurés d'oxyde de zinc. Cette étude s'applique à l'amélioration des performances de détection des dispositifs actuels en termes d'étendue spectrale, de sensibilité de vision nocturne, de fiabilité. Cette étude permettra de montrer le potentiel de cette nouvelle technologie dans un domaine d'application très large à la fois pour le civil et le militaire.

Descriptif

Les nanoparticules d'oxyde de zinc (ZnO) ont la particularité d'absorber les ultraviolets et d'émettre dans les longueurs d'onde visibles. Habituellement, le rendement des dispositifs fluorescents est très mauvais et les perspectives d'applications sont donc difficiles à mettre en place. Une des conséquences se retrouve dans l'échauffement des dispositifs fluorescents (rétro éclairage d'écran, lampe à LED, ...). Dans le cas du ZnO, les résultats sont remarquablement prometteurs et le projet de recherche proposé ici a l'ambition d'optimiser ces performances pour augmenter le succès d'intégration dans les applications pour l'aéronautique. L'originalité de ce projet réside dans l'intégration de la durabilité et de la robustesse dès la conception du dispositif. L'avantage majeur de cette méthode est la réduction considérable du coût de développement d'une nouvelle technologie. Un des verrous technologique majeur à lever réside dans l'efficacité optique finale des dispositifs élaborés et structurés. Le caractère innovant associé au respect de l'environnement tant d'un point de vue traitement des déchets que consommation d'énergie pour son élaboration permettra d'envisager des solutions d'avenir très prometteuses. L'un des avantages des NP de ZnO est leur caractère hydrophile avec différents types de fonctionnalisation de surface (ex. SiO₂). Le caractère hydrophile de ces surfaces fonctionnalisées contribue à faciliter l'intégration dans une matrice polymère. En outre, le processus de synthèse faible coût et l'application grande surface des NP de ZnO aidera à réduire les coûts impliqués dans la fabrication de dispositifs.

L'objectif de ce projet de recherche est d'utiliser des nanoparticules (NP) de ZnO respectueux de l'environnement, non-toxiques, à faible coût qui sont synthétisées par des techniques chimiques à faible coût dans les applications militaires et civiles. Jusqu'à présent, des nanoparticules de ZnO ont

été utilisés dans une variété d'applications pour exemples : les photodétecteurs, les dispositifs à ondes acoustiques de surface, nanolaser ultraviolets, varistances, cellules solaires, capteurs de gaz, les biocapteurs, la céramique, à émission de champ, et nanogénérateur. L'originalité de ce projet est d'intégrer les NP de ZnO dans les appareils de vision nocturne et de rétro-éclairage. ZnO nanoparticules absorbent fortement dans l'UV et leurs émissions peuvent s'étendre de l'UV au visible en changeant la dimension des nanoparticules. Les spectres des photons disponibles dans la nuit a été largement caractérisée dans le visible et proche IR, mais les études sont très pauvres dans la gamme UV. Il est intéressant d'explorer la gamme UV pour augmenter la sensibilité de la vision nocturne.

Deux questions clés doivent être résolues avant toute mise en oeuvre dans un dispositif : l'efficacité lumineuse des NP de ZnO structurées en couches minces ainsi que sa durée de vie opérationnelle.

Le travail est décomposé de la façon suivante :

- **Synthèse des Nanoparticules d'oxyde de Zinc (ZnO):** Synthèse des nanoparticules par différentes techniques, Optimisation de la technique retenue, Intégration des NP de ZnO dans des polymères ou sur substrats
- **Caractérisation des Nanoparticules de ZnO:** Analyse spectrale en temps résolue , Analyse Physique et chimique, Modélisation de la structure ZnO, Etude des propriétés de vieillissement
- **Exploration des applications potentielles:** Conception, fabrication, caractérisation optique et structurale

La première phase de ce travail de thèse qui constitue le coeur du projet, consiste en la **synthèse des nanoparticules (NP) de ZnO**. Il existe plusieurs méthodes de synthèse. A l'IEMN, le candidat optimisera le procédé par voie hydrothermale, afin d'obtenir les meilleures performances. Les NP seront contenues dans un solvant liquide permettant leur analyse spectrale mais très inconfortable pour l'application. En collaboration avec le laboratoire d'Intégration du Matériau au Système (IMS Bordeaux I), les techniques d'introduction des NP de ZnO dans une matrice hôte seront étudiées. A ce stade, on sera très attentif aux résultats constituant le point central de la réussite du projet de recherche. La grande expérience de l'IEMN dans le domaine d'intégration de NP dans une matrice hôte participera à la réussite de ce projet.

La phase suivante concerne la caractérisation des nanomatériaux élaborés. Elle permettra d'étudier la faisabilité, la robustesse et la fiabilité d'un dispositif à base de NP. Cette étude menée par l'IMS permettra l'analyse de la luminescence résolue en temps (TRPL). Cette partie est fondamentale pour déterminer non seulement l'efficacité du ZnO mais également déterminer les signatures de défaillance permettant d'estimer la fiabilité du dispositif élaboré. Les analyses physico-chimiques (Diffraction de rayon X, Microscopie Electronique en transmission) permettent de compléter les analyse afin d'élaborer et de préciser un modèle utilisable pour l'analyse de défaillance. Les vieillissements, adaptés aux profils de mission dans l'aéronautique, seront appliqués aux échantillons fournis par l'IEMN. L'expérience de l'IMS dans le domaine de l'analyse de la fiabilité constituera un atout majeur pour le transfert technologique.

La dernière partie s'intéresse aux premières étapes de transfert de technologie des NP de ZnO. La partie permet d'envisager l'étude de deux grands types de matrice : polymère et verre. Selon les résultats obtenus, nous choisirons de développer les premiers dispositifs de test dans la plateforme d'excellence ELORPrintTech (polymère) ou bien RBnano pour les verres.

Le projet doit conduire à un rayonnement scientifique par des publications et des conférences. L'ambition de relier les fortes avancées en recherche fondamentale à l'application participe grandement à la volonté nationale de la mise en avant de l'innovation. Au sein des applications UV, les NP de ZnO pourrait remplacer la couche de l'état solide coûteuse. Elle ouvre la voie à de nouveaux capteurs UV compacte déposé sur visières de casque ou des lunettes. Dans le cas des applications de rétro éclairage, les propriétés de réglage en longueur d'onde de ce matériau pourraient conduire à un dispositif bon marché et flexible. Les dispositifs actuels utilisent des lampes fluorescentes à cathode multi spectrale froide (CCFL) ou des diodes électroluminescentes blanches associées à un guide optique plan et des filtres de couleur RVB derrière chaque pixel. Les filtres fluorescents à base de ZnO pourraient accroître considérablement le rendement des écrans LCD en réduisant sa complexité, son coût de production et sa consommation d'énergie.

Deux questions clés doivent être résolues avant toute mise en oeuvre dans un dispositif : l'efficacité lumineuse des NP de ZnO structurées en couches minces ainsi que sa durée de vie opérationnelle. L'originalité de ce projet provient de cette approche orientée produit basée sur la méthode de fiabilité construite. Le transfert de technologie sera examiné en s'appuyant sur l'équipement d'excellence ELORPrintTech. Dans la mesure où des applications sur les verres peuvent être envisagées, il est envisagé de prendre contact avec la société RBnano. De cette manière, l'étude permettra de montrer le potentiel de cette nouvelle technologie dans un domaine d'application très large.