

# Etude des propriétés électroniques et opto-électroniques des matériaux photovoltaïques en couches minces

**Laboratoire :** IM2NP

**Entreprise associée :** CHECKUP SOLAR

**Financement :** thèse CIFRE

## **Contexte :**

Le photovoltaïque connaît depuis une dizaine d'années une croissance très soutenue et qui devrait encore perdurer longtemps dans un contexte où écologie et besoins énergétiques sont plus que jamais d'actualité. Cette croissance s'accompagne naturellement par l'émergence de nouvelles filières, basées sur de nouveaux matériaux souvent en couches minces qui viennent concurrencer la filière classique en silicium massif. Cependant, quel que soit le matériau utilisé pour la conversion photovoltaïque, un bon rendement de conversion « photon - électron » nécessite une bonne qualité optoélectronique du matériau. Il est donc essentiel de pouvoir déterminer (quantifier) cette qualité le plus tôt possible dans la chaîne de fabrication des cellules solaires et dans la mesure du possible sur le matériau brut avant tout traitement. Pour être utile et performante cette caractérisation doit pouvoir s'effectuer sans préparation ni surtout modification/altération des échantillons analysés ce qui rend préférable les techniques de mesures sans contact, comme la mesure microonde de la durée de vie volumique des porteurs minoritaire ( $\tau_b$ ). Le paramètre  $\tau_b$  est en effet directement lié à la qualité optoélectronique du matériau et conditionne le rendement de conversion de la cellule. Pour le silicium cristallin massif plusieurs techniques sont disponibles, comme la décroissance de la photoconduction [1] ou la technique du déphasage micro-onde [2]. Le développement des nouvelles couches minces (CIS, Si amorphe hydrogéné, organique,...) nécessite de tels moyens de caractérisations qu'il faut donc adapter à ces structures et matériaux.

Une collaboration étroite a été établie notamment au travers d'un contrat de licence exclusif entre l'UPCAM III représentant l'IM2NP et la société Checkup Solar pour l'exploitation de la technologie Phase Shift (brevet N° FR 06/50388 déposé le 03/02/2006 par l'UPCAM III). Le premier marché visé par Checkup Solar est celui de la fabrication de cellules solaires à partir de silicium massif. Cependant, même si ce marché restera largement majoritaire pendant de nombreuses années, Checkup Solar souhaite répondre à des clients actifs dans le domaine des couches minces et prendre une avance technologique pour la caractérisation des propriétés électriques des composants utilisant des couches minces à usage PV (photovoltaïque).

Le sujet de thèse proposé porte sur l'étude des propriétés électroniques et opto-électroniques des matériaux en couches minces à usage photovoltaïque (PV) tels que le Si en couche mince, le Si nanostructuré ou encore le CIGS (Cu-In-Ga-Se).

Comme, ces propriétés sont en premier lieu conditionnées par la morphologie des couches, les premières caractérisations structurales seront réalisées par microscopie électronique. En parallèle, les propriétés électriques et optoélectriques du matériau pourront être analysées par des mesures classiques (résistivité quatre pointes, effet Hall, absorption, transmission et réflexion optique) et innovantes (Phase Shift,...).

Une attention particulière devra porter sur les propriétés des surfaces et interfaces qui pour ces épaisseurs de matériaux vont devenir critiques vis-à-vis des performances électriques du composant final.

Les matériaux, qui contiendront inévitablement des "impuretés" et des atomes ou groupement d'atomes contaminants présents dans les couches et/ou aux interfaces, devront être observés et leurs propriétés quantifiées grâce à des mesures d'absorption infrarouge (IR) locales (instrument de type microFTIR : BRUCKER Vertex70). Une corrélation sera alors recherchée entre la morphologie des couches et les différentes mesures photoélectriques et physico-chimiques.

Pour cette thèse, la technique de mesure de la durée de vie de porteurs minoritaires sans contact (Phase Shift ou PCD ) sera mise au point pour l'inspection des couches minces. Deux problèmes essentiels seront à résoudre : la faible épaisseur des couches limitant d'une part l'absorption des photons et d'autre part l'absorption et la réflexion des faisceaux microondes utilisés comme sonde de mesure. Chacune de ces couches ayant des propriétés physiques particulières (coefficient d'absorption, gap direct ou indirect, résistivité, épaisseur,...) il faudra commencer par déterminer quels sont les phénomènes qui peuvent rendre difficile la mise en œuvre d'une mesure sans contact par réflexion/transmission microondes ou par couplage inductif. Le choix des fréquences sondes devra alors être validé en fonction des paramètres spécifiques des couches, ainsi que les fréquences de modulation et puissances des sources d'excitation lumineuse. Dans un second temps, l'exploitation du signal de mesure devra être approfondie, notamment par une analyse spectrale du signal sonde microonde dans le cas de la technique du déphasage. Le troisième temps de ces travaux correspond à la validation des techniques développées par confrontation aux résultats expérimentaux qui seront obtenus sur chacune des couches.

Le candidat à cette thèse doit avoir de bonnes connaissances sur l'interaction rayonnement (optique, microondes) matière, sur la physique des semiconducteurs et en traitement du signal. L'équipe d'encadrement se chargera de former le doctorant aux techniques et au domaine du photovoltaïque.

Encadrement universitaire :

Pr. Olivier PALAIS [olivier.palais@im2np.fr](mailto:olivier.palais@im2np.fr) & Pr. Marcel PASQUINELLI [marcel.pasquinelli@im2np.fr](mailto:marcel.pasquinelli@im2np.fr)

[1] J. Schmidt and A.G. Aberle, J. Appl. Phys. 81, 6186 (1997)

[2] O. Palais and A. Arcari - J. Appl. Phys., Vol. 93, No. 8, 4686 15 April 2003

## **A propos de Checkup Solar et de la technologie Phase Shift**

### **L'offre de Checkup Solar**

Checkup Solar propose une offre de services et une gamme de produits qui permet aux entreprises des marchés ciblés d'inspecter les propriétés électriques des matériaux semi-conducteurs aux différentes étapes de la fabrication du composant.

Checkup Solar vise en premier lieu le marché du PV (Photovoltaïque) à base de silicium massif.

La technologie peut s'appliquer directement ou via des développements spécifiques à d'autres semi-conducteurs (photovoltaïque à couches minces inorganiques ou organiques, contamination de wafers microélectroniques, etc...).

Checkup Solar exploite la technologie Phase Shift inventée par MM. Palais Olivier et Pasquinelli Marcel du laboratoire IM2NP (tutelle : Université Paul Cézanne Aix-Marseille 3).

En phase de R&D, l'inspection consiste à caractériser, c'est à dire à analyser l'évolution des propriétés électriques obtenues aux étapes clés d'un process donné en cours d'élaboration.

En R&D, la mesure peut être soit globale soit cartographique (« point par point » à la résolution désirée : 20 microns, 1 mm...). SANS passivation du wafer.

En phase de production, l'inspection consiste à contrôler la conformité de la qualité aux étapes clés du process pour classer au plus tôt l'intégralité des wafers en cours de transformation par le process. SANS passivation du wafer.

Ces mesures sont stratégiques car le rendement de conversion des cellules solaires dépend directement de ces propriétés électriques finales. Et la performance du process dépend également de la capacité à réduire au plus tôt les coûts de non qualité.

Les parts de marché d'un fabricant de cellules solaires dépendent de la performance de ses produits et de son process, ainsi que de sa capacité à développer rapidement de nouveaux produits.

Checkup Solar réalise :

- des prestations de service (caractérisation de wafers)
- des prestations d'ingénierie : rédaction de cahier des charges client et des spécifications des produits correspondants
- conception et fabrication d'une gamme d'instruments de mesures et de services
- Vente d'équipements

### **Les avantages de la technologie Phase Shift**

La technologie Phase Shift est comparée avec les 2 méthodes concurrentes du marché : QSSPC (Quasi Steady State PhotoConductance) et PCD (PhotoConductance Decay).

La méthode PCD utilise un éclairage type flash et la QSSPC un éclairage « quasi stable » (décroissance lente) mais non monochromatique (plusieurs longueurs d'onde comme dans le cas de la lumière naturelle).

Les mesures en Phase Shift sont rapides, sans contact, non intrusives, non destructives (SANS passivation du wafer).

Les mesures Phase Shift sont surtout plus pertinentes et précises que les autres technologies en raison d'un niveau d'injection modulé et constant en valeur moyenne, avec pour effet favorable de neutraliser la participation des centres pièges dans le bilan de recombinaison des porteurs minoritaires.

Les appareils sont plus simple à utiliser (calibrer), plus robustes, portables, modulaires ou intégrés.

### **A propos du positionnement de Checkup Solar**

La société a pour objectif de devenir la référence en matière de caractérisation des propriétés électriques des matériaux semi-conducteurs et de l'optimisation des process de développement et de production des composants à base de semi-conducteurs.

Plus d'informations à propos de Checkup Solar : [www.checkupsolar.com](http://www.checkupsolar.com)