



HAL
open science

Réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques

Anne Kaminski-Cachopo, Delphine Constantin, Loïc Vincent, Quentin Rafhay, Ahmad Bsiesy

► To cite this version:

Anne Kaminski-Cachopo, Delphine Constantin, Loïc Vincent, Quentin Rafhay, Ahmad Bsiesy. Réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques. 12es Journées Pédagogiques du CNFM, Nov 2012, Saint-Malo, France. pp.59-64. hal-00807271

HAL Id: hal-00807271

<https://hal.science/hal-00807271v1>

Submitted on 10 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Réalisation et caractérisation de cellules photovoltaïques

Anne Kaminski-Cachopo^{a,b}, Céline Ternon^{a,b}, Fabien Volpi^{a,b}, Delphine Constantin^b, Loïc Vincent^b,
Quentin Rafhay^{a,b}, Ahmad Bsiesy^b

(a) Grenoble-INP PHELMA, 3 parvis Louis Néel, BP 257, 38016 Grenoble Cedex 1

(b) CIME Nanotech, pôle CNFM de Grenoble, 3 parvis Louis Néel, 38016 Grenoble Cedex 1

I. Introduction

Depuis plusieurs années, grâce aux subventions de nombreux pays européens, la puissance photovoltaïque installée en Europe ne cesse de croître et ce malgré la crise économique actuelle. En France de nombreux centres de recherche y sont entièrement consacrés comme l'INES (Institut National de l'Energie Solaire) situé à Chambéry. En région Rhône-Alpes, plusieurs entreprises sont également impliquées dans le photovoltaïque comme SOITEC, Photowatt, Appolon Solar, Solar Force...

Le CIME Nanotech et l'école d'ingénieurs PHELMA de Grenoble INP, de par leur emplacement privilégié en région Rhône-Alpes, ont souhaité élargir au photovoltaïque les travaux pratiques proposés par le CIME. Cet enseignement a débuté deux ans auparavant par la simulation et la réalisation de cellules solaires en silicium massif, dite de première génération [1]. Il a ensuite évolué afin d'introduire des étapes de fabrication permettant d'améliorer les rendements de conversion mais aussi afin de sensibiliser les étudiants à la lithographie via une étape d'alignement. Ce travail est complété par une séance de caractérisation sur un simulateur solaire dont le CIME Nanotech a fait l'acquisition.

Nous présentons par la suite les travaux réalisés en salle blanche et en caractérisation.

II. Réalisation en salle blanche

Cet enseignement « photovoltaïque » développé au CIME-Nanotech a pour but de sensibiliser les étudiants aux technologies de salle blanche en réalisant des cellules photovoltaïques, ce qui implique que certaines étapes technologiques comme la lithographie, peu présentes dans l'industrie photovoltaïque soient néanmoins incluses dans le procédé de fabrication.

Un jeu de deux masques de lithographie a été réalisé suivant le schéma présenté sur la figure 1. Le premier masque correspond à l'ouverture des zones actives, le deuxième à la réalisation de la métallisation face avant par lift-off.

Sur une plaque de silicium de deux pouces, les étudiants vont réaliser trois cellules solaires de 1,5cm de côté chacune. La différence entre les trois cellules solaires provient du schéma de métallisation utilisé pour le contact sur la face avant dont la surface varie d'une cellule à l'autre. Cette différence va se traduire par un taux d'ombre et une résistance série qui vont varier d'une cellule à l'autre, phénomène que les étudiants pourront analyser au cours de la séance de caractérisation. Les deux motifs restant vont permettre de mesurer la résistivité de contact via des mesures TLM (Transmission Line Model) [2].

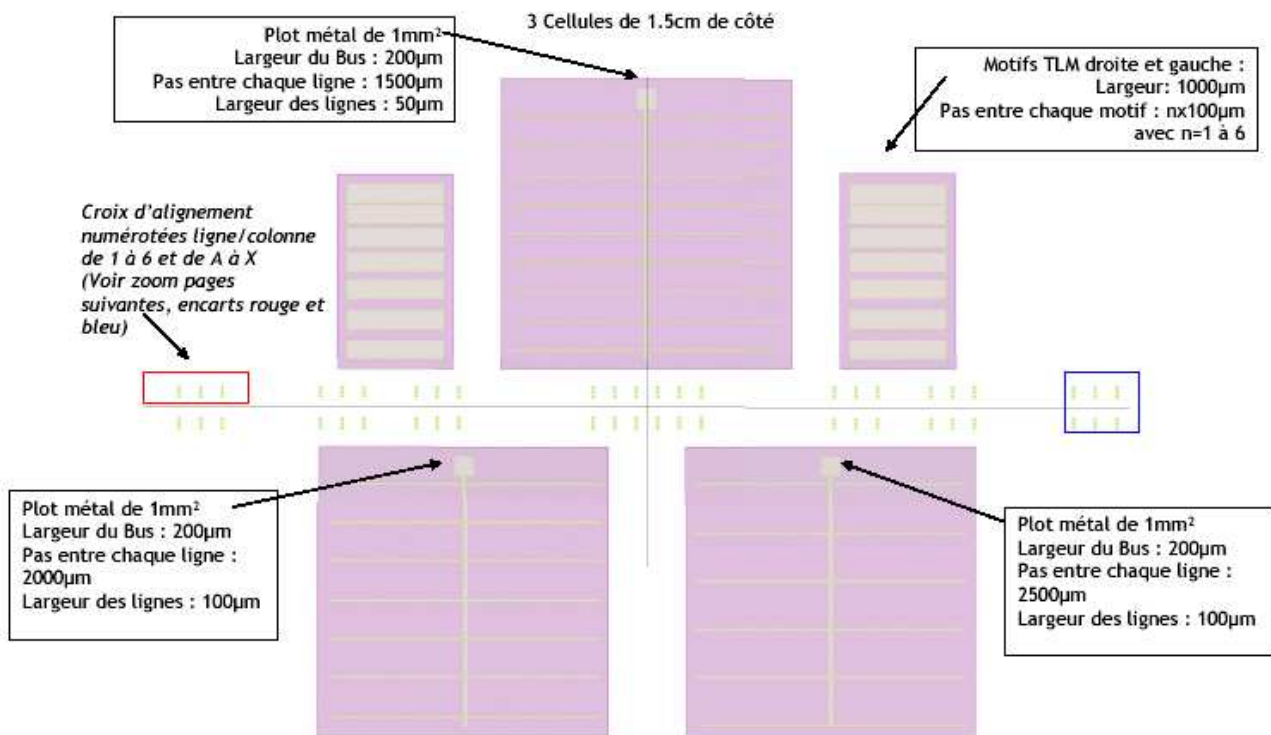


Figure 1 : Masques des cellules solaires réalisées en salle blanche. Le niveau 1 correspond à l'ouverture des zones actives (rectangles et carrés) dans l'oxyde de champ, le niveau 2 à la réalisation des contacts métalliques (peignes et plots de contacts) en aluminium. L'alignement des 2 niveaux est réalisé au moyen des croix d'alignement présentes au milieu du masque.

Le procédé de fabrication des cellules solaires se déroule en 16 heures suivant les étapes suivantes :

- Oxydation thermique humide épaisse sous-traitée par l'équipe technique du CIME Nanotech pour réaliser l'oxyde de champ.
- Ouverture des zones actives (masque 1) dans lesquelles seront réalisées les cellules solaires et les motifs de test de résistivité de contact.
- La moitié des plaques est texturée par attaque chimique dans une solution de KOH diluée.
- Nettoyage des plaques (HF ; H₂O₂/H₂SO₄ ; HF)
- La jonction est ensuite réalisée par diffusion thermique de phosphore dans un four LYDOP.
- Gravure du verre de phosphore et nettoyage des plaques.
- Métallisation face arrière en Al par pulvérisation cathodique
- Recuit RTA du contact pour former un champ arrière passivant par surdopage du silicium à l'aluminium.
- Dépôt de la couche anti-reflet en SiN_x par PECVD
- Photolithographie du SiN_x face avant (masque 2)
- Protection de l'aluminium en face arrière par dépôt de résine
- Gravure du SiN_x dans une solution HF/NH₄F
- Dépôt d'aluminium face avant par pulvérisation cathodique
- Gravure du métal face avant par lift-off.

Outre ces étapes technologiques, des étapes de caractérisation en salle blanche sont prévues : ellipsométrie pour mesurer l'épaisseur et l'indice de la couche anti-reflet SiN_x ; mesure par la méthode des quatre pointes de la résistivité du substrat de silicium et de la résistance carrée après dopage, observation au microscope électronique à balayage de la texturation.

La structure finale obtenue est représentée sur la figure 2.

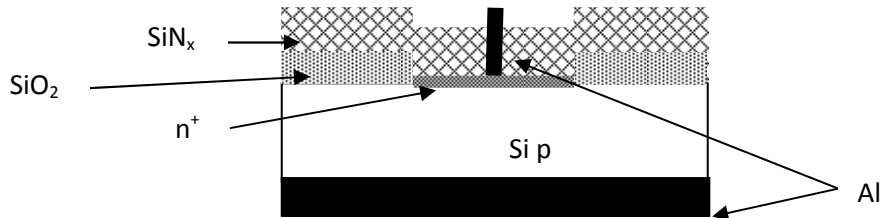
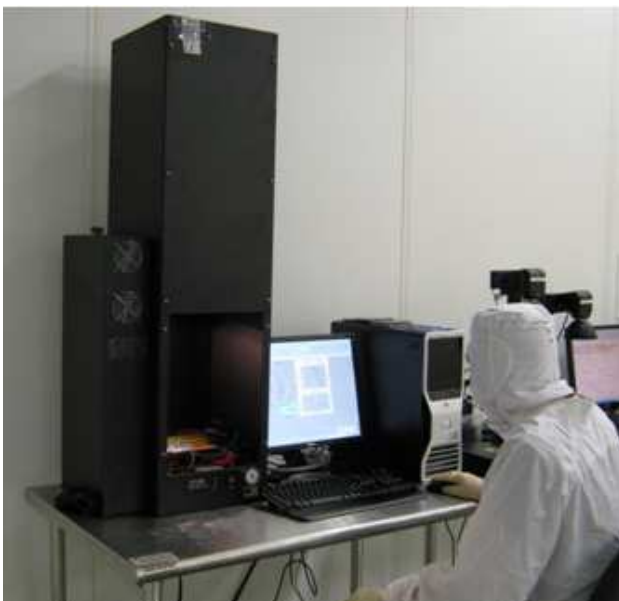


Figure 2 : Structure photovoltaïque finale réalisée en salle blanche

III Caractérisation électrique

L'objectif de la séance de caractérisation électrique est d'analyser les performances des cellules photovoltaïques et d'identifier les sources de pertes optiques et électriques. Pour cela, trois types de mesures seront effectuées : caractérisation des cellules solaires sous éclairage, caractérisation des cellules solaires dans le noir et caractérisation au moyen des motifs TLM.

Les étudiants vont pouvoir mesurer le rendement des cellules solaires en utilisant le simulateur solaire de classe AAA (figure 3) acquis par le CIME et permettant d'éclairer les cellules solaires avec un rayonnement correspondant à celui du soleil sous AM1.5 (Air Mass 1.5 : rayonnement à la surface de la terre, le soleil faisant un angle d'environ 48° avec sa position au zénith. Densité de puissance incidente : 1000W/m^2). Ce simulateur solaire utilise un flash lumineux couplé à un système électrique permettant de faire des mesures I-V sous obscurité et sous éclairage.



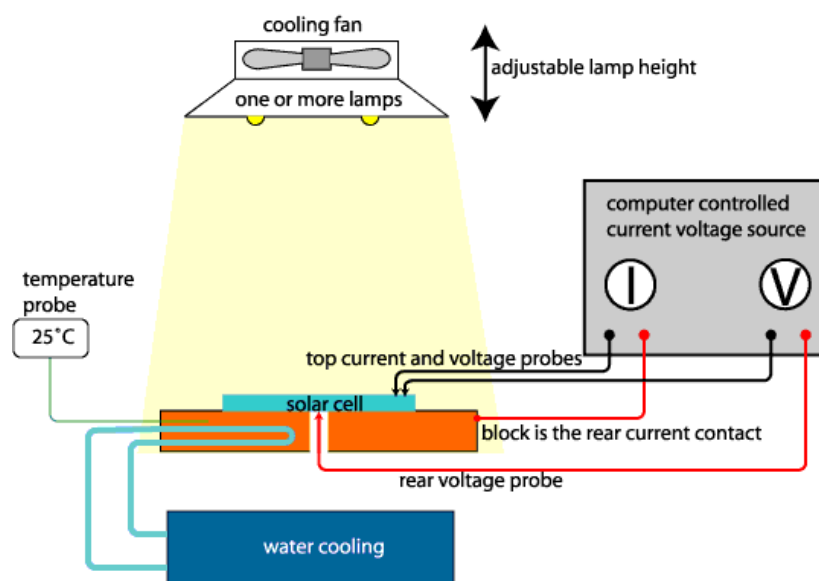


Figure 3 : Haut : Simulateur solaire et système d'acquisition des courbes I-V ; bas : schéma de principe de la mesure I-V sous éclairage [3]

Durant la caractérisation électrique, les étudiants sont sensibilisés à différentes sources de pertes comme les pertes optiques par réflexion (comparaison des performances sur cellules solaires texturées et non texturées en fonction de l'ombrage lié à la métallisation face avant). Les pertes de puissance par effet Joule sont aussi analysées en déduisant la résistance série des mesures I-V pour chaque cellule solaire. Cette mesure est comparée à la résistance série calculée de manière analytique [2, 4] en tenant compte de la contribution de chaque partie résistive de la cellule solaire à la résistance totale. Pour cela, des mesures complémentaires de résistivité de contact et de résistance carrée de la couche dopée sont réalisées par la méthode TLM [2] (Transmission Line Model) sur un appareil Keithley 4200. Des mesures I-V sont également réalisées sous obscurité afin de calculer les paramètres de la diode (facteur d'idéalité, courant de saturation) ainsi que la résistance parallèle.

Le détail des mesures et des calculs demandés est présenté ci-après.

Mesures sur le simulateur solaire :

1. Mesure de la courbe I-V sous obscurité puis extraction du facteur d'idéalité et du courant de saturation de la diode ainsi que des résistances série et parallèle.
2. Mesure I-V sous éclairage (figure 4) des cellules solaires réalisées en salle blanche.
3. A partir de la courbe sous éclairage et de la courbe de puissance (tracée à partir de la courbe I(V) mesurée), extraction du courant de court-circuit I_{sc} , de la tension en circuit ouvert V_{oc} , du facteur de forme FF, de la puissance maximale fournie par la cellule solaire P_{max} et du rendement de conversion. Analyse des résultats en fonction des différents procédés utilisés (avec ou sans texturation...).
4. Pour chaque cellule solaire, calcul de la résistance série en utilisant la courbe « sun- V_{oc} » mesurée en même temps que la courbe I(V). Cette courbe correspond à une mesure de la tension en circuit ouvert aux bornes de la cellule à différents éclairagements [5]. Les étudiants doivent expliquer la formule utilisée, extraire la résistance série et le rendement sans l'effet de la résistance série.

5. Calcul du taux d'ombre lié aux métallisations pour chaque cellule.

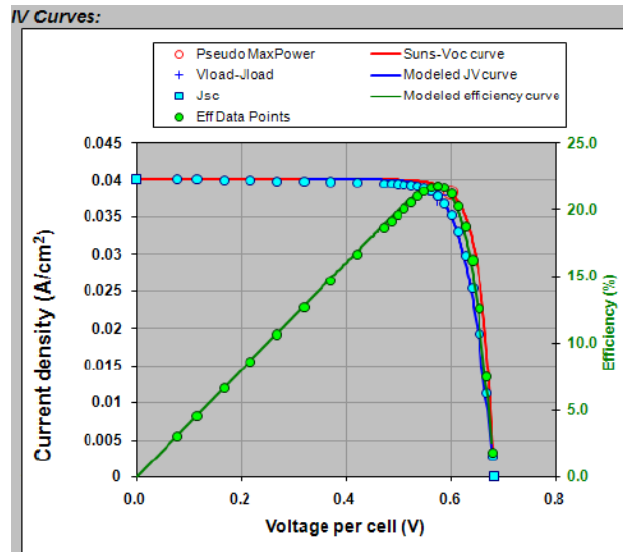


Figure 4 : Courbes I-V et Sun-Voc [5]

Mesures de résistance de contact (Keithley 4200)

1. Pour les mesures TLM, les étudiants effectuent les mesures I-V entre chaque plot métallique (figure 5), extraient la résistance entre deux plots et tracent la résistance en fonction de l'espacement entre les plots. Ils déduisent de cette courbe la résistance de contact et la résistance carrée de la couche dopée. Les étudiants peuvent comparer cette dernière mesure avec celle réalisée en salle blanche par la méthode des quatre pointes.

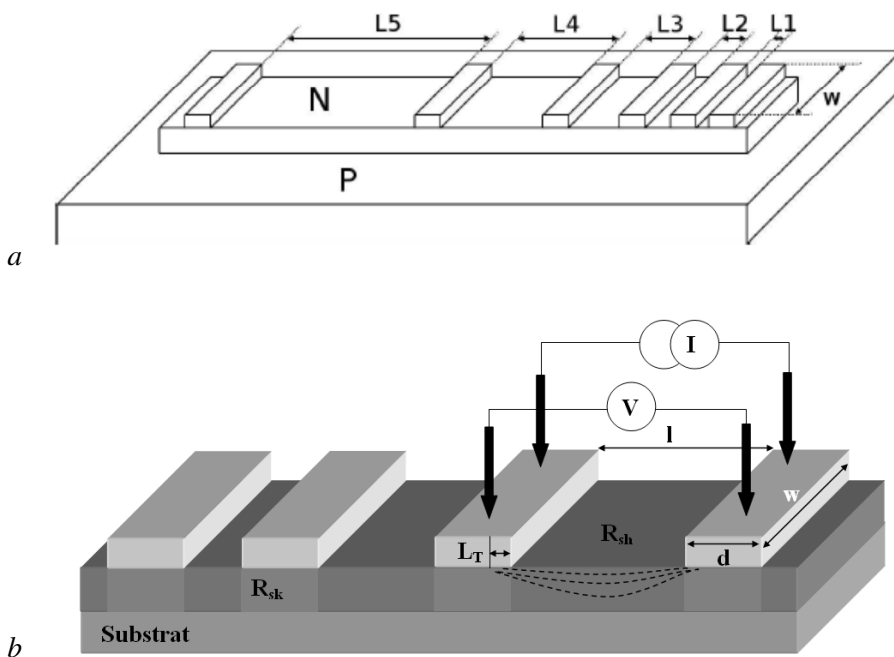


Figure 5 : a : Motif de mesure (plots 1, 2...) avec $L_5=5L_1$; b : Mesure de la résistance entre deux plots

2. A partir des paramètres mesurés, calcul analytique de la résistance liée à la base (substrat de départ), à l'émetteur (dopé n), à la résistance de la grille face avant, à la résistance de contact des cellules réalisées. Pour cela l'enseignant guide les étudiants dans leurs calculs. La somme de chacune de ces contributions est ensuite comparée à la résistance série extraite de la courbe I-V sous éclairage.

3. Pour finir, les étudiants comparent la contribution des différentes parties de la cellule aux pertes résistives globales et concluent quant aux zones à optimiser tout en tenant compte du taux d'ombre calculé précédemment.

IV. Conclusion et perspectives

L'enseignement photovoltaïque mis en place au CIME Nanotech et basé sur la réalisation et la caractérisation de cellules photovoltaïques est actuellement suivi par plusieurs filières d'enseignement de PHELMA. A travers ces travaux pratiques, les étudiants sont sensibilisés à la production d'électricité photovoltaïque mais aussi aux technologies salle blanche et à la caractérisation électrique.

Références

[1] Céline Ternon, Delphine Constantin, Anne Kaminski, Lionel Claudon, Fabien Volpi, Quentin Rafhay, Ahmad Bsiesy, Mise en place d'un TP de simulation, élaboration et caractérisation d'une cellule photovoltaïque de première génération, Journées pédagogiques du CNFM, 2010, Saint Malo.

[2] D. Meier and D. Schröder, "Contact resistance : its measurement and relative importance to power loss in a solar cell", IEEE transactions on electron devices, vol. ED1, n° 5, 1984, Mai.

[3] <http://pveducation.org/pvcdrom>

[4] D. Schröder and D. Meier, "Solar cells contact resistance : a review," IEEE Transactions on electron devices, vol. ED. 31, n° 5, 1984, Mai.

[5] Sinton Instruments : FCT-350 Manual.