

## Application de la technique EBIC pour la prédiction de la qualité des cellules photovoltaïques de silicium monocristallin et polycristallin

K. Saïl<sup>1</sup>, M. H. Gafour<sup>1</sup>, G. Bassou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>: Faculté des Sciences Exactes, Laboratoire L2MSM, Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, B.P.89, Sidi Bel Abbès, 22000, Algérie

### RESUME

L'utilisation de la technique EBIC dans les cellules photovoltaïques est devenue très courante. Les cellules sur lesquelles nous allons travailler sont à base de silicium mono et polycristallin. Ce dernier est devenu l'un des matériaux les plus promoteurs pour les applications photovoltaïques, en comparaison avec le silicium monocristallin. Il présente plusieurs avantages: peu de déchets de coupe, une fabrication nécessitant deux à trois fois moins d'énergie que les cellules à base de silicium monocristallin. L'intérêt d'une telle technique pour l'étude de ce type d'échantillon est de permettre la localisation et l'identification des défauts électriquement actifs dans les grains et joints de grains et la mesure de la longueur de diffusion moyenne. La connaissance de ce paramètre permet de prédire la qualité de la cellule du point de vue rendement. Dans cet article nous allons justement présenter une étude réalisée sur des cellules photovoltaïques fabriquées à base de Si monocristallin et polycristallin en essayant de comparer la longueur de diffusion des porteurs minoritaires dans chaque cas Cellules Solaires.

**Mots-clés:** Microscopie électronique à balayage (MEB), Technique EBIC, Cellules photovoltaïques.

### I. INTRODUCTION

Le microscope électronique à balayage (MEB) est basé sur la détection des signaux émis par l'impact d'un faisceau d'électrons sur un matériau. Ses différents modes de fonctionnement correspondent justement, à l'exploitation des différentes émissions. L'utilisation du courant échantillon qui correspond au mode absorbé, ouvre un large éventail d'applications du MEB pour la caractérisation des dispositifs et matériaux semi-conducteurs, en plus des modes de fonctionnement fréquents d'imagerie à savoir les modes des électrons secondaires, rétrodiffusé et des rayons X. En effet, dans le mode absorbé, l'exploitation du courant induit par bombardement électronique ou ce qui est communément appelé courant EBIC (Electron Beam Induced Current), permet d'accéder à plusieurs types d'informations sur le matériau irradié qui peuvent être qualitatives [1-4] (hétérogénéité du semiconducteur, défauts localisés, dislocations, joints de grain, agrégats,...) ou quantitatives (longueur de diffusion des porteurs minoritaires, vitesse de recombinaison, durée de vie...) [5-7]. Cette méthode est basée sur la mesure du courant des porteurs minoritaires dans les dispositifs semi-conducteurs, générés par injection électronique. Ces porteurs en excès (paires électrons trous) doivent être nécessairement séparés après leur génération soit par une jonction pn soit par un champ localisé dû à un défaut local.

Dans le cas d'une jonction électrique, celle-ci peut être alors disposée parallèlement ou perpendiculairement au faisceau d'électrons en fonction de la structure géométrique de l'échantillon. Cependant, la configuration où la jonction est parallèle à la surface permet non seulement la mesure de paramètres électriques mais aussi de visualiser leur cartographie de répartition et d'identifier les défauts électriquement actifs. Cependant elle reste une technique suffisamment résolue pour permettre des analyses localisées au niveau des circuits intégrés et dispositifs électroniques [8-10].

### II. REALISATION DES ECHANTILLONS

Les cellules solaires à base de silicium monocristallin ont été réalisées au niveau de l'unité semiconducteur de l'entreprise nationale des industries électroniques (ENIE) de Sidi-Bel-Abbès. Le, matériau de départ est du silicium type p dopé n avec du phosphore à partir de la source liquide POC13. Un barbotage du POC13, avec de l'azote utilisé comme gaz porteur, est utilisé pour faire arriver du phosphore dans le four de diffusion où se trouvent les plaquettes à doper. Le four est porté à une température de l'ordre de 1000°C. Concernant les cellules à base de silicium polycristallin, ces derniers nous ont été remis par un laboratoire spécialisé dans le développement et la réalisation des dispositifs à semiconducteur se trouvant à Lyon. Le matériau de départ est du silicium multicristallin de type p et le processus de réalisation est semblable à celui décrit pour le mono. La texturisation est faite en utilisant la base KOH à faible concentration dans de l'eau dés-ionisée (DI) et à une température d'environ 70°C. On rajoute une faible quantité d'IPA (alcool isopropylique) pour

---

**Corresponding author:** SAÏL Karima.

E-mail: [sailkari7@yahoo.com](mailto:sailkari7@yahoo.com)

Address: Université Djillali Liabes de Sidi Bel Abbès, B.P.89, Sidi Bel Abbès, 22000, Algérie

permettre à la solution alcaline de bien s'étaler et se fixer à la surface du silicium.

### III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### III.1. Analyses qualitatives (observations)

En premier lieu, nous avons procédé à des images en électrons secondaires pour les deux types d'échantillons. L'obtention de ces images n'exige pas une grande préparation une fois que le MEB est réglé. Il suffit pour cela de prendre des échantillons de dimensions adaptées afin de faciliter leurs introductions dans la chambre du microscope. Les micrographies de la figure (1) représentent un échantillon de la cellule photovoltaïque à base de silicium monocristallin (a) et à base de silicium polycristallin (b).

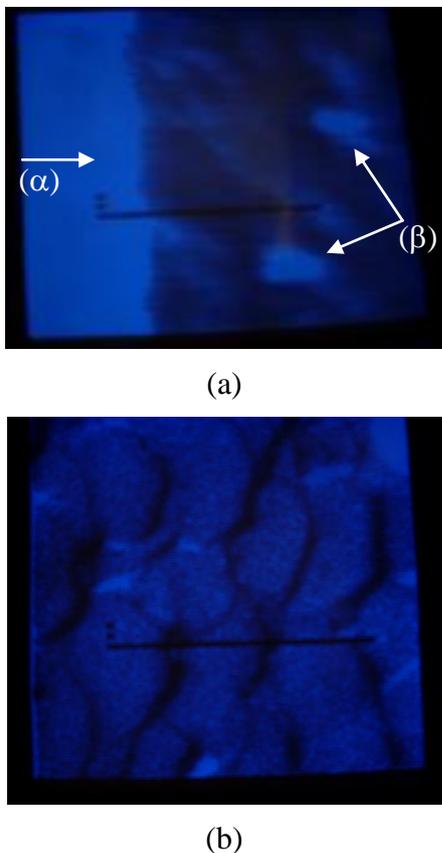


Fig.1 Image en es, des cellules solaires (a) monocristallin et (b) polycristallin à 15 kV, barre=100μm

La micrographie (a) montre l'état de surface de la cellule en Si-mono avec certaines parties en surbrillance. La partie (α) représente un doigt du peigne qui sert à la collecte du courant de la plaquette. Les taches brillantes (β) sont des fragments de métal provenant des manipulations lors de la réalisation des lignes de connexion par sérigraphie. Ces fragments constituent des défauts qui vont augmenter la vitesse de recombinaison en surface ce qui a pour effet de diminuer le courant de collecte et

affecte ainsi la tension en circuit ouvert ( $V_{OC}$ ) [11]. La micrographie (b) représente le revêtement de la surface de la cellule en Si poly. Ce revêtement en forme d'écaille est destiné à piéger la lumière dans le but d'augmenter le rendement de la cellule.

Avec ces échantillons, nous avons réalisé des images en mode EBIC. La micrographie de la figure (2) qui représente la cellule à base de silicium mono, révèle un contraste opposé à celui de l'image en es (fig.1(a)). Le métal apparaît avec un contraste noir du moment qu'aucune génération n'y est possible. Par ailleurs, on note que la forme du doigt de collecte présente des bords mal définis en 'zig-zag'.

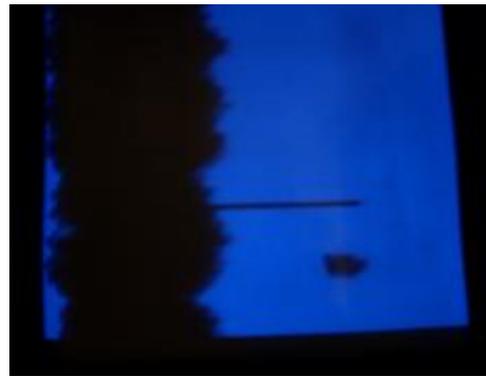


Fig.2 Image EBIC de la cellule à base de Si monocristallin à 15 kV. Barre=100μm

L'image EBIC de l'échantillon polycristallin, est réalisée sur la tranche de la cellule comme il est indiqué sur le schéma de la figure (3). L'image EBIC obtenue avec un courant de bombardement de 1nA et une tension de 15kV, est donnée par la figure (4). Notons tout d'abord que le clivage de la cellule afin d'obtenir une vue sur la tranche ne s'est pas fait correctement suivant un plan bien régulier. Nous distinguons clairement les zones actives des zones non actives en forme de sillon ce qui explique a priori le clivage mal réalisé.

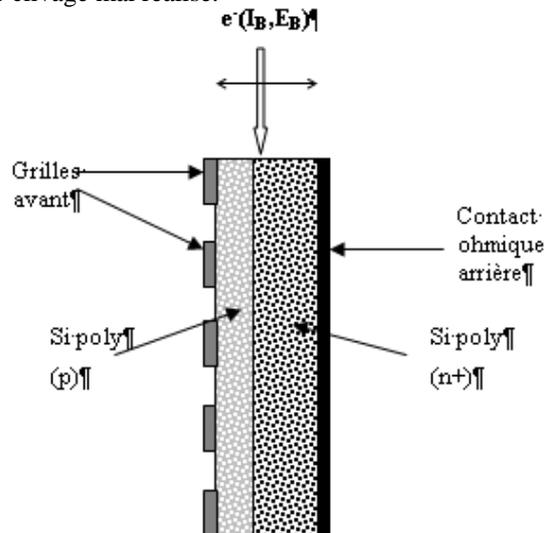


Fig.3 Coupe Schématique de la cellule photovoltaïque

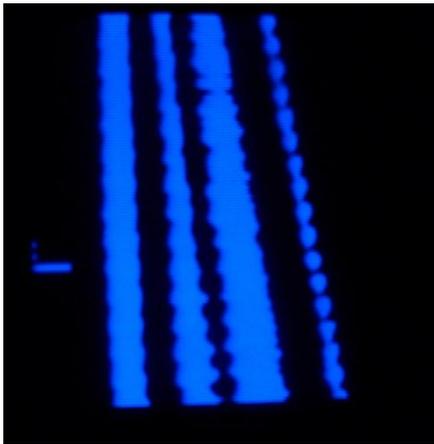


Fig.4 Image EBIC, de la cellule à base de Si polycristallin à 15 kV. Barre=100µm

Les parties présentant un contraste sombre correspondent vraisemblablement à des régions plus profondes par rapport aux autres parties. Notons enfin que la cellule est active sur toute sa profondeur ce qui laisse penser à rendement très important de la cellule.

### III.2 Analyses quantitatives (estimation de la longueur de diffusion)

La mesure de la longueur de diffusion que nous proposons d'effectuer nécessite un relevé de la valeur du courant EBIC le long d'une ligne de balayage une fois l'image EBIC est obtenue.

Sur les figures (5) et (6), nous donnons les courbes obtenues par le balayage ligne, respectivement pour le silicium poly et le monocristallin. Ces courbes ont été utilisées pour l'extraction des longueurs de diffusion de chaque type. Dans ce cas le modèle théorique utilisé est celui donné par la relation suivante :

$$I_{EBIC} = I_{max} \cdot \exp\left(-\frac{x}{l}\right)$$

où  $I_{max}$  est le courant recueilli lorsque le faisceau incident est à l'aplomb de la zone de charge d'espace,  $x$  est la distance entre la zone de charge d'espace et la position du faisceau,  $l$  étant la longueur de diffusion.

Ainsi, la longueur de diffusion du silicium monocristallin est de l'ordre de 40 µm alors que celle du silicium polycristallin est de l'ordre de 20 µm. Cette différence très importante traduit le fait que le Si polycristallin reste toujours un matériau à travailler afin d'améliorer ses qualités intrinsèques et les rapprochées de celles du Si monocristallin.

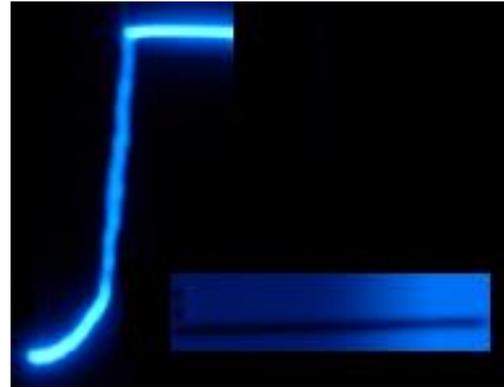


Fig. 5 Balayage ligne, mode EBIC Si polycristallin, barre = 100

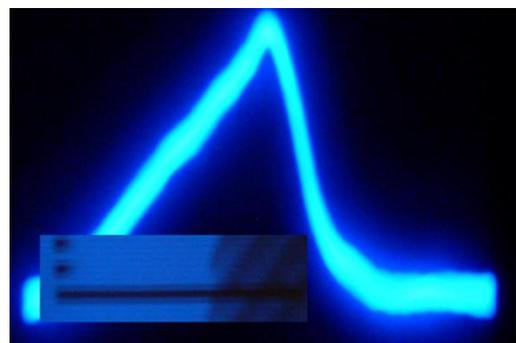


Fig.6 Balayage ligne, mode EBIC. Si monocristal, barre = 100 µm

En fait les faibles valeurs de la longueur de diffusion du Si poly sont dues à la présence des impuretés aux niveaux des joints de grains [12,13].

## IV. CONCLUSION

Au cours de cet article nous avons donné le principe de la méthode EBIC dans ces différentes configurations. Nous avons ensuite présenté les principaux résultats expérimentaux que nous avons obtenus par cette technique sur des cellules photovoltaïques en silicium monocristallin et en silicium polycristallin. La comparaison de leurs longueurs de diffusion a montré que le silicium polycristallin présente une longueur de diffusion bien plus faible que celle du silicium monocristallin ce qui explique le meilleur rendement de cellule en silicium monocristallin.

## References

- [1] Veschetti, et al., *Thin Solid Films* vol. 543 (2006)511–512.
- [2] D.B. Holt, D.C. Joy, *Semiconductor Microcharacterization of Semiconductors*. Academic Press London(1989).
- [3] Y. Beggah, D. E. Mekki, N. Tabet, R.J. Tarento. *Solid-State Electronics* (1998), Vol. 3, pp. 379-383.
- [4] Bondarenko, H. Kirk, O. Kononchuk, G. Rozgonyi, *Materials Science and Engineering B42*(1996) 32-37.

- [5] J. Franc, E. Belas, A.L. Toth, H. Sitter, P. Hlidek, P. Moravec, P. Hoschl. *Journal of Crystal Growth* 197 ( 1999) 593-598.
- [6] K. S. Vincent, Ong, Dethau Wu. *Solid-State Electronics*, 44(2000) 1585-1590.
- [7] A. Boudjani, G. Bassou, T. Benbakhti, M. Beghdad, *Solid State Electronics* (1995) Vol 38 N°2 pp 471-475.
- [8] K. Kaufmann, L. J. Balk, *Journal of Physics D: Applied Physics* (1995) 28, 914.
- [9] T. MIYAJIMA, M. Ozawa, T. Asatsuma, H. Kawai and M. Ikeda *Journal of Crystal Growth* (1998) 189, 768,
- [10] M. J. Romero, D. Araujo, R. Garcia, *Materials science and engineering B* 42(1996), 172.
- [11] J. BROERSMA, J. J. E. Indenkleef, H. K. Kuiken, *Journal Engineering Math*, 18(1984) 315.
- [12] Gordon et al. Fabrication and characterization of highly efficient thin-film polycrystalline-silicon solar cells based on aluminum-induced crystallization, *Thin Solid Films* 516( 2008), 6984–6988.
- [13] Z.C. Liang et al. Characterization of direct epitaxial silicon thin film solar cells on a low-cost substrate, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 80(2003) 181–193.