ANALYSE EBIC DES JOINTS DE GRAINS DANS LE SILICIUM POLYCRISTALLIN

P. Ruterana, A. Bary, G. Nouet

► To cite this version:

P. Ruterana, A. Bary, G. Nouet. ANALYSE EBIC DES JOINTS DE GRAINS DANS LE SILICIUM POLYCRISTALLIN. Journal de Physique Colloques, 1982, 43 (C1), pp.C1-27-C1-31. 10.1051/jphyscol:1982105 . jpa-00221758

HAL Id: jpa-00221758

<https://hal.science/jpa-00221758>

Submitted on 1 Jan 1982

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.

ANALYSE EBIC DES JOINTS DE GRAINS DANS LE SILICIUM POLYCRISTALLIN

P. Ruterana* , A. Bary** et G. Nouet**

* *Equipe Physique du Solide****Equipe Matériaux-Microstructure**Laboratoire de Cristallographie, Chimie et Physique du Solide, I.A 251, ISMRA, Université de Caen, 14032 Caen Cedex, France*

Résumé. - Du silicium polycristallin est examiné au TEM pour la caractérisation cristallographique des joints et au SEM en mode EBIC pour la détermination de leur activité électrique. Les plans de macles cohérents sont trouvés être électriquement inactifs à la différence des autres joints qui sont constitués par de petites facettes ou décorés par des précipités.

Abstract. - Grain boundaries in polycrystalline silicon have been studied using EBIC, SEM and TEM. The reduction of the electrical properties is due to the presence of defects in the grain boundaries structure. These defects, dislocations or facets, are evidently associated with segregated atoms.

1. **Introduction.** - La dimension des cellules solaires a eu un impact immédiat sur le coût de leur production. De ce fait le silicium monocristallin de très grande qualité électronique a été remplacé par du matériau polycristallin. Actuellement, il apparaît que la structure optimale soit réalisée par des grains colonnaires. Ce remplacement s'est accompagné d'une baisse de rendement des photopiles liées à la présence de ces joints. La modification du courant induit (EBIC) à la traversée de ces joints est attribuée aux défauts et impuretés situés dans ces joints (1,2,3). L'objectif de cette étude est de relier la cristallographie du joint à son comportement électrique.

2. Matériau et Techniques opératoires (SEM, EBIC et TEM)

Le matériau utilisé est du type Silso fourni par la Société Wacker. La cellule solaire est constituée par une jonction p - n située à 0,4 µm de profondeur, l'épaisseur totale étant de 300 µm. Les mesures relatives au comportement électrique des joints de grains sont effectuées au microscope électronique à balayage (SEM) selon deux modes : électrons rétrodiffusés pour visualiser les grains et leurs joints, courant induit (EBIC) pour mesurer l'intensité du courant de diffusion collecté aux bornes de la cellule. Sur une même plaque photographique les deux phénomènes sont superposés, une ligne horizontale permet de repérer le balayage. Après ces mesures en mode induit une rondelle de 3 mm de diamètre est découpée, amincie mécaniquement à une centaine de microns et finalement amincie chimiquement ou ioniquement. La face "avant" de la cellule, celle qui est la plus proche de la jonction, reste intacte, toutes les opérations d'amincissement sont effectuées par la face arrière.

Au microscope électronique à transmission (TEM) les grains contigus sont orientés au moyen d'une méthode décrite par ailleurs et les indices des plans de l'interface sont déterminés (4).

Un même joint est donc caractérisé électriquement (EBIC + SEM) et cristallographiquement (TEM). Il faut remarquer cependant, que les grossissements sont fortement différents : EBIC + SEM, X 50, TEM x 10000 à 30000 et que les résolutions de ces deux techniques ne sont pas comparables.

3. Caractéristiques électriques d'une cellule solaire polycristalline

En comparaison avec une cellule solaire monocristalline les caractéristiques du matériau polycristallin sont inférieures (Tableau 1).

	$L_D \mu m$	ICC_{mA/cm^2}	$V_{co} mV$	F . R	M%
Si mono	>100	28	600	0.75	12
Si poly	< 50	23	530	0.69	8

Table I : mono and poly - Si characteristics
Tableau I : comparaison des caractéristiques

L_D : longueur de diffusion, ICC : courant de court-circuit, V_{CO} : tension de circuit ouvert, F.R. : facteur de remplissage, M : rendement.

Une analyse de l'influence des joints de grains sur le comportement électrique des cellules a été entreprise.

4. Structure cristallographique du matériau.

La figure 1 obtenue au SEM en mode électrons rétrodiffusés, correspond à un carré de 2 cm de côté d'une cellule. Cette première observation indique la présence de deux groupes d'interfaces : les uns parfaitement rectilignes, parallèles entre eux (groupe 1) et les autres aux contours plus ou moins courbes (groupe 2). On peut, dès à présent, remarquer que le groupe 1 est toujours situé à l'intérieur des grains définis par les joints du groupe 2. Le diamètre moyen de ces grains est voisin de 1,2 mm.

Fig. 1 : enregistrement du signal EBIC
Fig. 1 : EBIC signal in poly - Si

Au TEM deux échantillons prélevés dans la plaque voisine et ayant la même morphologie due à la structure colonnaire des joints ont été analysés systématiquement : détermination de la relation d'orientation entre grains contigus, de l'indice de coïncidence, des indices cristallographiques du plan du joint et du plan moyen de la lame (inclinaison 0°) (Tableau 2).

E \ J	A/B	B/C	C/D	D/E	E/F	F/G	G/H	H/I	H/J	H/K	
1	a	3	3	47a	3	27b	27b	3	3	3	19b
	b	111	111	fac	111	fac	?	111	111	111+211	?
	c	211/111	111/001	100/001	001/111	111/110	110/111	111/001	001/110	001/110	001/221
	A/B	B/C	C/D	B/D	F/G	F/H	G/H	H/I	I/J	J/K	
2	a	3	9	3	27	27b	81	3	3	3	3
	b	111	111//511	111+211	111+fac	fac	?	111	111	111	111
	c	001/111	111/001	001/001	111/001	001/111	001/001	111/001	001/001	001/111	111/001

Table 2 : Cristallographic characterization

Tableau 2 : Caractérisation cristallographique

a : indice de coïncidence, b : indices cristallographiques du plan du joint (fac : petites facettes, ? : non déterminés), c : indices cristallographiques du plan moyen
J : joint, E : échantillon.

Ces résultats limités confirment les observations déjà décrites (5). La majorité des interfaces d'indice de coïncidence 3, à l'exception des interfaces $(H/J)_1$ et $(C/D)_2$, est constituée par des plans de macles (111) et correspond au groupe 1. Les interfaces dont les indices de coïncidence sont des multiples de 3 sont généralement dus aux différentes réactions possibles entre les macles du premier ordre et des ordres suivants (5). Par contre les autres interfaces ($(C/D)_1$ et $(H/K)_1$) d'indices de coïncidence "quelconques" et les interfaces $(H/J)_1$ et $(C/D)_2$, macles du 1er ordre, et $(B/C)_2$, macle du 2ème ordre sont à classer dans le groupe 2 caractérisé par des joints plus ou moins courbes à l'échelle du SEM. A l'échelle du TEM ces joints sont soit constitués par de grandes facettes (111) et (211) (macle du 1er ordre), soit par de petites facettes (111) et d'autres à indices cristallographiques non déterminés (macle du 2ème ordre) soit par des facettes très petites d'indices "quelconques" pour les indices de coïncidence 19 et 47.

5. Analyse EBIC

L'enregistrement de l'analyse EBIC sur la figure 1 confirme l'existence de ces deux groupes : le groupe 1 constitué par les plans de macles (111) ne modifie pas le courant EBIC à la différence du groupe 2. Une analyse plus systématique des différents joints d'un même grain montre un comportement différent selon les facettes examinées (Figure 2). Un traitement semi-quantitatif de ces informations est en cours de développement.

Trois échantillons dont deux sont notés $(B/C)_2$ et $(F/G)_2$ sur la figure 1 ont été examinés au TEM après analyse EBIC. Ces deux joints sont constitués de petites facettes et des dislocations extrinsèques sont présentes (Fig. 3). Leurs indices de coïncidence sont respectivement 9 et 27b.

Dans le troisième échantillon le joint est décoré par des précipités ayant un diamètre moyen de 50 nm, l'indice de coïncidence est alors de 19b.

6. Discussion et Conclusion

Les interfaces qui se forment pendant le refroidissement peuvent être classés en deux groupes. Ils apparaissent probablement de manière simultanée mais cependant leurs origines sont totalement différentes. Les plans de macles (111) (groupe 1) ne se forment qu'à l'intérieur des grains dont les joints constituent le groupe 2. Ces plans de macles sont associés aux macles de croissance dont la formation s'explique par un mécanisme de dislocation. Inversement, la formation des joints du groupe 2

Fig. 2 : Variation de la diminution du courant induit selon les facettes.

Fig. 2 : Variation of the induced current reduction with respect to the orientation facets.

est associée directement à la solidification du lingot. Ces joints sont alors des lieux privilégiés pour la ségrégation des impuretés. Il est donc clair que les défauts de structure du joint de grains associés aux atomes ségrégés favoriseront la recombinaison des porteurs minoritaires.

7 . Remerciements

Nous tenons à remercier la Radiotechnique Compelec Caen pour sa collaboration.

Fig. 3 : Défauts et précipités dans des joints ayant entraîné une diminution du courant EBIC.

Fig. 3 : Defects and precipitates in electrically active grain boundaries.

Références

1. STRUNK H., CUNNINGHAM B. et AST D., M.R.S. Conference (1980) Boston.
2. RALLON O., AUCOUTURIER M., HERVO C., MAUTREF M. et BELOUET C., J.M.A., Mém. Et. Scient., Revue de Métallurgie, 9 (1981) 410.
3. REDFIELD D., Appl. Phys. Lett. 40 (1982) 163.
4. KARAKOSTAS Th., NOUET G., BLERIS G.L., HAGEGE S. et DELAVIGNETTE P., Phys. Stat. Sol. (a), 50 (1978) 703.
5. FONTAINE C. et ROCHER A., J. Microscopy 118 (1980) 105.