

[Tous les numéros](#) ▶ [Volume 11 \(2020\)](#) ▶ [EPJ Photovolt., 11 \(2020\) 4](#) ▶ Full HTML

Semi-conducteurs désordonnés et applications photovoltaïques

Accès libre

Problème	EPJ Photovolt. Volume 11, 2020 Semi-conducteurs désordonnés et applications photovoltaïques
Numéro de l'article	4
Nombre de pages)	5
Section	Films minces semi-conducteurs
EST CE QUE JE	https://doi.org/10.1051/epjpv/2020002
Publié en ligne	10 février 2020

Photovoltaïque EPJ 11, 4 (2020)

<https://doi.org/10.1051/epjpv/2020002>

Article régulier

Caractérisation électrique du Si épitaxial plasma à basse température cultivé sur des substrats Si fortement dopés

Cyril Léon^{1,2,3*}, Sylvain Le Gall^{1,2,3}, Marie-Estelle Gueunier-Farret^{1,2,3}, Jean-Paul Kleider^{1,2,3}
et Pere Roca i Cabarrocas^{3,4}¹ Université Paris-Saclay, CentraleSupélec, CNRS, Laboratoire de Génie Electrique et Electronique de Paris, 91192 Gif-sur-Yvette, France² Sorbonne Université, CNRS, Laboratoire de Génie Electrique et Electronique de Paris, 75252 Paris, France³ Institut Photovoltaïque d Ile-de-France (IPVF), 30 Route départementale 128, 91120 Palaiseau, France⁴ LPICM, CNRS, Ecole polytechnique, IP Paris, 91128 Palaiseau, France* e-mail: cyril.leon@geeps.centralesupelec.fr

Reçu: 8 octobre 2019 Reçu sous sa forme définitive: 19 décembre 2019 Accepté: 7 janvier 2020 Publié en ligne: 10 février 2020

Abstract

Des couches de silicium épitaxial ont été cultivées sur des substrats c-Si hautement dopés en utilisant le procédé de dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD) à basse température (175 ° C). Les propriétés de transport et de défaut de ces couches d'épi-Si ont été caractérisées par des techniques de densité de courant-tension ($J - V$) et de capacité-tension ($C - V$). Les résultats montrent que les couches d'épi-Si présentent un dopage non intentionnel de type n avec une faible densité de dopage apparente d'environ $2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$. La technique de spectroscopie d'admittance est utilisée pour étudier la présence de défauts de niveau profond dans la structure. Un niveau d'énergie à 0,2 eV en dessous de la bande de conduction a été trouvé avec une densité de l'ordre de 10^{15} cm^{-3} ce qui peut expliquer le profil de dopage apparent observé.

Mots clés: capacité – tension / courant – tension / profil d'impureté / Si épitaxial

© C. Leon et al., Publié par EDP Sciences, 2020

Table des matières

Article

- Abstrait HTML complet
- PDF (1,503 Mo) ePUB (2,577 Mo)
- Les références

Métrique

[Afficher les statistiques de l'article](#)

Prestations de service

Mêmes auteurs

- [Google Scholar](#)
- [Base de données EDP Sciences](#)

[Recommander cet article](#)[Télécharger la citation](#)

Articles Liés

[Faisabilité de l'utilisation de couches minces de silicium cristallin développées par épitaxie à 165 ° C dans des cellules solaires: une étude de simulation informatique](#)

EPJ Photovoltaics 4, 45103 (2013)

[Croissance épitaxiale de silicium et de germanium sur des substrats cristallins orientés \(100\) par RF PECVD à 175 ° C](#)

EPJ Photovoltaics 3, 30303 (2012)

[Optimisation géométrique et comparaison des performances électriques de structures en tandem à couches minces basées sur pm-Si: H et µc-Si: H à l'aide de la simulation informatique](#)

EPJ Photovoltaics 2, 20301 (2011)

Plus

Bookmarking



Services aux lecteurs

Alerte email

Haut



Il s'agit d'un article en libre accès distribué sous les termes de la licence d'attribution Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), qui permet une utilisation, une distribution et une reproduction sans restriction sur tout support, à condition que l'œuvre originale soit correctement citée.

Abstrait

- 1. Introduction
- 2 Processus de fabrication
- 3 Mesures courant-tension
- 4 Mesures de capacité – tension ...
- 5 Spectroscopie d'admission
- 6. Conclusion
- Déclaration de contribution de l'auteur
- Les références
- Liste des tableaux
- Liste des figures

1. Introduction

L'épitanie plasma à basse température a été développée au cours des dernières années. Le processus, basé sur l'interaction d'amas chargés positivement avec la surface du film a été étudié expérimentalement [1, 2] et modélisés à l'aide de simulations ab initio [3]. De plus, des couches épitaxiales minces ont été intégrées avec succès dans des cellules solaires de type hétérojonction sur des plaquettes de silicium cristallin (c-Si) [4, 5] et transféré avec succès sur des substrats en verre [6, 7] aboutissant à des dispositifs avec des rendements de conversion d'énergie de l'ordre de 6 à 8%. La modélisation des caractéristiques $J - V$ et de l'efficacité quantique externe de tels dispositifs a révélé que la densité de défauts dans ces couches épitaxiales devait être d'environ $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ et que des rendements jusqu'à 13% sont à portée de main [8]. Dans cet article, nous utilisons des mesures de densité de courant-tension ($J - V$) et de capacité-tension ($C - V$) pour étudier les propriétés électriques (transport et états de défaut) de diodes Schottky fabriquées avec un mince film de silicium cristallin développé par épitanie à 175 ° C sur un substrat en c-Si fortement dopé.

2 Processus de fabrication

Des couches de silicium cristallin hydrogéné (épi-Si) non dopées (non dopées intentionnellement) ont été déposées par dépôt chimique en phase vapeur assisté par plasma (PECVD) à 175 ° C à partir de la dissociation de mélanges silane-hydrogène dans un réacteur monochambre multiplasma à paroi chaude [9].

Les films ont été co-dépôtés sur des substrats de silicium cristallin fortement dopés orientés p^{++} et n^{++} (100) avec des valeurs de résistivité inférieures à 0,005 ohm.cm et nettoyés soit en utilisant un trempage standard dans une solution HF à 5% pendant 30 s ou in situ dans le réacteur à plasma utilisant un plasma SiF_4 [10].

Dans la suite, les structures seront notées «(epi / p^{++})_i» et «(epi / n^{++})_i» pour l'épi-Si déposé sur des substrats p^{++} et n^{++} c-Si, respectivement (avec i le numéro de l'échantillon). Après dépôt, les films ont été caractérisés par des mesures d'ellipsométrie spectroscopique à partir desquelles leur cristallinité et leur épaisseur ont été déterminées. Les contacts Au ont été évaporés thermiquement à travers un masque d'ombre pour définir la zone des dispositifs (points de 1 mm et 2 mm de diamètre). Un contact Al a été déposé sur la face arrière de la structure. Des mesures ont été effectuées entre les contacts Au et Al. **Tableau 1** résume les conditions de croissance des échantillons présentés dans cette étude.

Tableau 1 Conditions de croissance PECVD sur les substrats n^{++} et p^{++} . La température du substrat et la puissance RF ont été fixées à 175 ° C et 10 Watts, respectivement. Les flux H_2 et SiH_4 ont été fixés respectivement à 350 sccm et 5 sccm. Di fait référence à la distance inter-électrodes dans le réacteur PECVD.

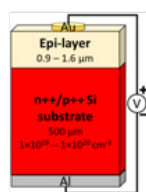


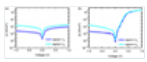
Fig. 1
Esquisse de la structure.

3 Mesures courant-tension

Les caractéristiques $J - V$ foncées sont illustrées sur la **figure 2** pour (epi / p^{++})_i (**figure 2 a**) et (epi / n^{++})_i (**figure 2 b**). On peut observer que les (epi / n^{++})_i présentent un comportement de jonction unique avec une barrière à une électrode et aucune barrière à l'autre, tandis que le courant linéaire pour les deux polarités dans le (epi / p^{++})_i suggère un diagramme de bande plus symétrique. La différence de comportement des courbes $J - V$ entre les mesures effectuées sur le (epi / n^{++})_i et le (epi / p^{++})_i peuvent être expliqués si l'on

considère que la couche épitaxiale de silicium est de type n. En fait, épi-couche de type n sur substrat p⁺⁺ avec contact Au (en considérant une fonction de travail de 4,85 eV [11]) conduit à deux barrières de part et d'autre de la couche épitaxiale comme le montre le diagramme en bandes de la structure de la figure 3a. D'autre part, en considérant le (epi / n⁺⁺)_i, la structure est celle d'une diode Schottky avant avec un contact arrière ohmique comme le montre le diagramme de bande de la figure 3 b. Ainsi, dans ce qui suit, d'autres techniques de caractérisation seront effectuées sur le (epi / n⁺⁺)_i.

Fig. 2



Caractéristiques $I - V$ forcées obtenues à température ambiante sur (a) (epi / p⁺⁺)_i et (b) (epi / n⁺⁺)_i.

Fig. 3



Croquis du diagramme de bande de (a) le (epi / p⁺⁺)_i et (b) le (epi / n⁺⁺)_i.

4 Mesures de capacité - tension

Les mesures $C - V$ permettent de sonder la région de charge d'espace (SCR) des couches d'épi-Si déposées sur des substrats n⁺⁺. La capacité est mesurée avec un compteur LCR qui fournit un petit signal de tension alternative de 20 mV. En haute fréquence (environ 100 kHz), l'effet capacitif n'est piloté que par la capacité d'appauvrissement: la variation de la largeur de la zone d'appauvrissement avec la tension appliquée induit une capacité d'appauvrissement qui prédomine en polarisation inverse. La capacité d'appauvrissement C par unité de surface dans une diode Schottky est donnée par [12]:

$$C = \frac{\epsilon}{w} = \sqrt{\frac{\epsilon q N_{CV}}{2(\psi_0 - V - \frac{k_B T}{q})}}, \quad (1)$$

où q est la charge élémentaire, ψ_0 le potentiel intégré d'équilibre du SCR, ϵ la permittivité diélectrique, N_{CV} la densité de dopage apparente ($N_{CV} = N_D$ si l'on considère l'épi-Si comme de type n), k_B la constante de Boltzmann, V la tension appliquée, T la température et w la largeur du SCR. Le tracé de Mott-Schottky, c'est-à-dire le tracé de $1/C^2$ fonction de la tension appliquée inverse, donne une ligne droite avec une pente liée à N_{CV} :

$$\frac{d(1/C^2)}{dV} = \frac{-2}{q\epsilon N_{CV}}. \quad (2)$$

Ceci peut être étendu à un dopage non uniforme pour obtenir un profil de dopage, la pente de polarisation V étant liée à la densité de dopage au bord w du SCR, calculée à partir de $w = \epsilon / C$ [12].

Les mesures $C - V$ effectuées sur les structures (epi / n⁺⁺)_i révèlent un tracé de Mott-Schottky non linéaire comme le montre la figure 4 a. Les densités de dopage apparentes N_{CV} extraites des pentes (Eq. (2)) dans la région quasi-linéaire (entre -1 et 0 V) sont représentées en fonction de la profondeur du contact Schottky sur la figure 4 b. On peut observer qu'ils sont de l'ordre de 10^{15} cm^{-3} . Avec ces faibles densités de dopage, comme prévu, la largeur de la région de charge d'espace est dans la gamme du micron et donc dans la gamme de l'épaisseur de l'épi-couche (e). Puisque la largeur de la zone d'appauvrissement ne peut pas être plus épaisse que l'épaisseur de l'épi-couche, pour une polarisation de tension inverse élevée, le graphique de Mott-Schottky tend vers $(e/\epsilon)^2$. Les pentes des tracés de Mott-Schottky étant impactées par cette limite, il n'est pas pertinent d'extraire les densités de dopage pour une telle plage de tension. Cependant, dans la région quasi-linéaire, les pentes donnent une bonne idée du profil de dopage apparent dans la structure.

Du fait qu'il n'y a pas de dopage intentionnel dans la structure, les profils de dopage apparent mesurés peuvent provenir de la présence d'impuretés provoquant des défauts peu profonds et / ou de niveau profond dans l'interstice de la couche épitaxiale. Il est bien connu que de tels défauts devraient même être plus visibles en fonction de la température et de la fréquence de la capacité, par exemple dans la technique de spectroscopie de capacité. Ainsi, dans la section suivante, nous présentons les mesures de spectroscopie de capacité effectuées sur le (epi / n⁺⁺)₁.

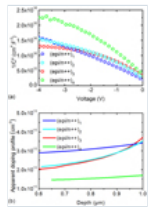


Fig. 4 (a) Tracés de Mott-Schottky de la structure (epi / n⁺⁺)₁ et (b) les profils de dopage apparent extraits des pentes des tracés de Mott-Schottky (Eq. (2)).

5 Spectroscopie d'admission

Si des défauts de niveau profond (électriquement actifs) sont présents dans l'intervalle des semi-conducteurs, ils peuvent contribuer à la capacité mesurée à basse fréquence. Si la fréquence du signal alternatif est suffisamment élevée par rapport à l'inverse du temps caractéristique d'échange de porteuses entre le défaut et la bande porteuse majoritaire, alors cette contribution a tendance à disparaître. Il en résulte un pas dans la courbe capacité-fréquence (C - f). La fréquence du point d'inflexion pour un piège à électrons est décrite comme suit [13]:

$$f_0 = \frac{\sigma_n v_{th} N_C}{\pi} e^{\frac{-E_a}{k_B T}} \tag{3}$$

où σ_n est la section efficace de capture des électrons, v_{th} est la vitesse thermique des électrons, N_C est la densité effective d'électrons dans la bande de conduction et E_a est l'énergie d'activation du défaut de niveau profond (énergie position dans l'intervalle par rapport à la bande de conduction).

La figure 5 présente les mesures de C - f - T à 0 V pour (epi / n⁺⁺)₄ (Fig. 5 a) et (epi / n⁺⁺)₁ (Fig. 5 b).

Presque aucune dépendance de fréquence n'est observée pour (epi / n⁺⁺)₄ de sorte qu'aucune information sur les défauts actifs dans l'intervalle ne peut être obtenue. Pour (epi / n⁺⁺)₁, un pas dans les courbes C - f est observé et la position fréquentielle du point d'inflexion f_0 augmente lorsque la température augmente. En extrayant f_0 pour différentes températures et en représentant ces valeurs dans un tracé d'Arrhenius (Fig. 6), on observe une droite dont la pente est liée à l'énergie d'activation du défaut en profondeur. Pour (epi / n⁺⁺)₁, l'énergie d'activation E_a est trouvée égale à 0,20 eV.

Nous avons également étudié l'influence des défauts de niveau profond sur la courbure des parcelles de Mott-Schottky. La courbe C - V du (epi / n⁺⁺)₁ à 300 K est mesurée pour deux fréquences du signal AC: 200 Hz et 200 kHz. Ces fréquences sont choisies sur la base de la figure 5b: à 200 Hz, les défauts doivent contribuer à la capacité totale tandis qu'à 200 kHz, cette contribution doit être minimisée. Les graphiques de Mott-Schottky pour les deux fréquences sont comparés à la figure 7 . Les valeurs de densité de dopage apparente, N_{CV} , sont extraites pour les deux courbes à basse tension inverse, où les valeurs de capacité sont supposées ne pas être limitées par l'épaisseur de l'épi-couche. On obtient N_{CV} valeurs de $2,8 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ et $1,7 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ à 200 Hz et 200 kHz, respectivement. La diminution de N_{CV} lorsque la fréquence est augmentée est en accord avec notre hypothèse que le dopage non intentionnel de l'épi-couche résulte de défauts dans la bande interdite. Cependant, la faible différence entre les densités de dopage apparentes extraites correspondant aux deux fréquences sélectionnées suggère que la densité de défauts dans cet échantillon est faible, de l'ordre de 10^{15} cm^{-3} .

Fig. 5

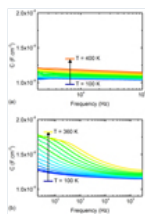


Diagramme $C - f$ à 0 V pour plusieurs températures pour (a) (epi / n^{++})₄ et (b) (epi / n^{++})₁.

Fig. 6

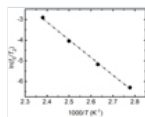
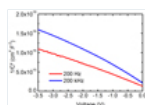


Diagramme d'Arrhenius de la fréquence en fonction de $1000 / T$ des points d'inflexion $C - f$ pour (epi / n^{++})₁ (points noirs). La ligne en pointillés représente l'ajustement linéaire utilisé pour déduire l'énergie d'activation (0,2 eV).

Fig. 7



Tracés de Mott-Schottky du (epi / n^{++})₁ mesuré à 300 K en utilisant deux valeurs de fréquence différentes du signal AC pour mettre en évidence l'influence des défauts sur la courbure de la courbe $1 / C^2 (V)$.

6. Conclusion

Nous avons démontré la présence d'une faible densité de dopage de type n apparent dans la gamme de 10^{15} cm^{-3} dans des couches de silicium épitaxial dopées involontairement cultivées en utilisant PECVD basse température. La dépendance en fréquence des graphiques $C - V$ et Mott-Schottky indique que les défauts de niveau profond avec une concentration dans la même gamme de 10^{15} cm^{-3} contribuent au dopage apparent. De tels défauts ont également été observés en spectroscopie capacitive. Cependant, l'utilisation de techniques de capacitance pour caractériser les densités de dopage et de défauts était limitée par la faible épaisseur des échantillons disponibles, de l'ordre du micron, c'est-à-dire du même ordre que la région d'appauvrissement formée à la barrière frontale Au Schottky. Une étude réalisée sur des échantillons plus épais est donc nécessaire pour des extractions quantitatives plus raffinées et pour comprendre l'origine des défauts peu profonds et profonds de ce matériau.

Déclaration de contribution de l'auteur

Tous les auteurs ont contribué de manière égale à cette étude.

Les références

1. P. Roca et Cabarrocas, K.-H. Kim, R. Cariou, M. Labrune, EV Johnson, M. Moreno, AT Rios, S. Abolmasov, S. Kasouit, Synthèse plasma à basse température de nanocristaux et leur application à la croissance de couches minces de silicium cristallin et de germanium, *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.* **1426**, 319 (2012) [[Google Scholar](#)]
2. W. Chen, G. Hamon, R. Leal, J.-L. Maurice, L. Largeau, P. Roca i Cabarrocas, Croissance du Si tétragonal par épitaxie assistée par plasma, *Cryst. Croissance Des.* **17**, 8 (2017) [[Google Scholar](#)]
3. H. Le, F. Jardali, H. Vach, dépôt d'amas de silicium hydrogéné pour une croissance épitaxiale efficace, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **20**, 15626 (2018) [[PubMed](#)] [[Google Scholar](#)]
4. R. Cariou, M. Labrune, P. Roca i Cabarrocas, cellules solaires en silicium cristallin minces basées sur des films épitaxiaux cultivés à 165 ° C par RF PECVD, *Solar Energy Mater. Sol. Cells* **95**, 2260 (2011) [[Google Scholar](#)]
5. R. Cariou, J. Tang, N. Ramay, R. Ruggeri, P. Roca i Cabarrocas, Croissance épitaxiale à basse température de l'absorbeur de SiGe pour cellules solaires à hétérojonction à couche mince, *Sol. Energy Mater. Sol. Cellules* **134**, 15 (2015) [[Google Scholar](#)]
6. W. Chen, R. Cariou, M. Foldyna, V. Depauw, C. Trompoukis, E. Drouard, L. Lalouat, A. Harouri, J. Liu, A. Fave, R. Orobtcouk, F. Mandorlo, C. Seassal, I. Massiot, A. Dmitriev, K.-D. Lee, P. Roca i Cabarrocas,

cellules solaires en silicium cristallin épitaxial PECVD à basse température basées sur la nanophotonique, J. Phys. D Appl. Phys. **49**, 12 (2016) [Google Scholar]

7. R. Cariou, W. Chen, I. Cosme-Bolanos, J.-L. Maurice, M. Foldyna, V. Depauw, G. Patriarche, A. Gaucher, A. Cattoni, I. Massiot, S. Collin, E. Cadel, P. Pareige, P. Roca i Cabarrocas, PECVD ultra-mince epitaxial Si cellules solaires sur verre via un processus de transfert à basse température, Prog. Photovolt. Res. Appl. **24**, 1075 (2016) [Google Scholar]
8. S. Chakraborty, R. Cariou, M. Labrune, P. Roca i Cabarrocas, P. Chatterjee, Feasibility of using thin crystalline silicon movies epitaxially at 165 ° C in solar cells: A computer simulation study, EPJ Photovoltaics **4**, 45103 (2013) [CrossRef] [EDP Sciences] [Google Scholar]
9. P. Roca i Cabarrocas, JB Chévrier, J. Huc, A. Lloret, JY Parey, JPM Schmitt, Un réacteur multi-plasma-monochambre à paroi chaude entièrement automatisé pour le dépôt de couches minces, J. Vac. Sci. Technol. **9**, 2331 (1991) [Google Scholar]
10. M. Moreno, P. Roca i Cabarrocas, Films de silicium cristallin ultra-minces produits par croissance épitaxiale assistée par plasma sur des plaquettes de silicium et leur transfert sur des substrats étrangers, EPJ Photovoltaics **1**, 10301 (2010) [CrossRef] [EDP Sciences] [Google Scholar]
11. SM Sze, *Physique des dispositifs à semi-conducteurs*, 2e éd. (John Wiley & Sons, New Jersey, 1981) [Google Scholar]
12. EH Rhoderick, contacts métal-semiconducteur, IEEE Proc. I Solid State Electron Dev. **129**, 1 (1982) [Google Scholar]
13. DL Losee. Spectroscopie d'admittance des niveaux d'impuretés dans les barrières Schottky, J. Appl. Phys. **46**, 5 (1975) [Google Scholar]

Citez cet article comme suit: Cyril Leon, Sylvain Le Gall, Marie-Estelle Gueunier-Farret, Jean-Paul Kleider, Pere Roca i Cabarrocas, Caractérisation électrique du Si épitaxial plasma basse température cultivé sur des substrats Si fortement dopés, Photovoltaïque EPJ **11**, 4 (2020)

Tous les tableaux

Tableau 1 Conditions de croissance PECVD sur les substrats n^{++} et p^{++} . La température du substrat et la puissance RF ont été fixées à 175 ° C et 10 Watts, respectivement. Les flux H_2 et SiH_4 ont été fixés respectivement à 350 sccm et 5 sccm. Di fait référence à la distance inter-électrodes dans le réacteur PECVD.

[↑ Dans le texte](#)

Tous les chiffres

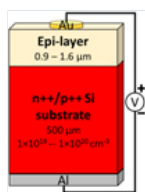
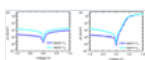


Fig. 1

Esquisse de la structure.

[↑ Dans le texte](#)

Fig. 2



Caractéristiques $J - V$ foncées obtenues à température ambiante sur (a) (epi / p^{++})_i et (b) (epi / n^{++})_i.

[↑ Dans le texte](#)



Fig. 3

Croquis du diagramme de bande de (a) le $(\text{epi} / \text{p}^{++})_i$ et (b) le $(\text{epi} / \text{n}^{++})_i$.

[↑ Dans le texte](#)

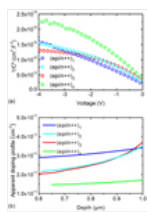


Fig. 4

(a) Tracés de Mott-Schottky de la structure $(\text{epi} / \text{n}^{++})_i$ et (b) les profils de dopage apparent extraits des pentes des tracés de Mott-Schottky (Eq. (2)).

[↑ Dans le texte](#)

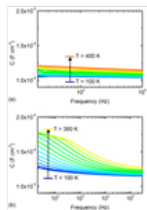


Fig. 5

Diagramme $C - f$ à 0 V pour plusieurs températures pour (a) $(\text{epi} / \text{n}^{++})_4$ et (b) $(\text{epi} / \text{n}^{++})_1$.

[↑ Dans le texte](#)

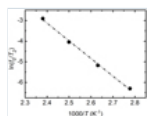


Fig. 6

Diagramme d'Arrhenius de la fréquence en fonction de $1000 / T$ des points d'inflexion $C - f$ pour $(\text{epi} / \text{n}^{++})_1$ (points noirs). La ligne en pointillés représente l'ajustement linéaire utilisé pour déduire l'énergie d'activation (0,2 eV).

[↑ Dans le texte](#)

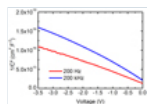


Fig. 7

Tracés de Mott-Schottky du $(\text{epi} / \text{n}^{++})_1$ mesuré à 300 K en utilisant deux valeurs de fréquence différentes du signal AC pour mettre en évidence l'influence des défauts sur la courbure de la courbe $1 / C^2 (V)$.

[↑ Dans le texte](#)

Nous recommandons

L'effet de la localisation des mécanismes de recombinaison sur la sensibilité thermique des cellules photovoltaïques à couche mince

N.Kata et al., EPJ Photovolt., 2019

Faisabilité de l'utilisation de couches minces de silicium cristallin cultivées par épitaxie à 165 ° C dans des cellules solaires: étude de simulation informatique

S. Chakraborty, EPJ Photovolt., 2013

Impact de la température sur un module photovoltaïque poussiéreux et nettoyé exposé dans des conditions extérieures sub-sahariennes

N'detigma Kata et al., EPJ Photovolt., 2018

Utilisation de l'hexaméthylsiloxane pour les couches d'oxycarbure de silicium microcristallin de type p

Prabal Goyal, EPJ Photovolt., 2016

Films de silicium cristallin ultra-minces produits par croissance épitaxiale assistée par plasma sur des plaquettes de silicium et leur transfert sur des substrats étrangers

M. Moreno, EPJ Photovolt., 2010

Lasers MQW III / V-on-Si en utilisant une nouvelle méthode d'intégration photonique de repousse sur un gabarit de collage

Yingtao Hu et al., Light: Science & Applications, 2019

Les modèles mathématiques convergent vers PGC1 α comme intégrateur métabolique clé de la régulation SIRT1 et AMPK de l'horloge circadienne

Alessandro Furlan et al., Proc Natl Acad Sci USA, 2019

Preuve que les marquages ultraviolets sont associés à des modèles de flux de gènes moléculaires.

RS Thorpe et al., Proc Natl Acad Sci USA, 2001

Monocouche ferromagnétique MnSn épitaxiée sur substrat de silicium

Qian-Qian Yuan et al., Lettres de physique chinoises, 2020

Chiffre d'affaires Interpace Q3 en hausse de 32%
journaliste, 360Dx, 2016

Je consens à l'utilisation de Google Analytics et des cookies associés sur le réseau TrendMD (widget, site Web, blog). [Apprendre encore plus](#)

Oui

Non

Photovoltaïque EPJ

Rédacteur en chef: Pere Roca i Cabarrocas, Daniel Lincot - [Comité de rédaction](#)

eISSN: 2105-0716

Copyright / Publié par: [EDP Sciences](#)

