



ISSN NO. 2320-5407

Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI: 10.21474/IJAR01/12565
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/12565>



INTERNATIONAL JOURNAL OF
ADVANCED RESEARCH (IJAR)
ISSN 2320-5407
Journal Homepage: <http://www.journalijar.com>
Article DOI: 10.21474/IJAR01/12565

RESEARCH ARTICLE

EFFET DE L'IRRADIATION PAR DES PARTICULES CHARGÉES SUR LE COEFFICIENT DE DIFFUSION DE LA BASE D'UNE PHOTOPILE AU SILICIUM (N^+P) : DETERMINATION DE L'ÉPAISSEUR OPTIMUM SOUS ÉCLAIREMENT MONOCHROMATIQUE

**Mor Sarr¹, Idrissa Gaye², Seydi Ababacar Ndiaye³, Mamadou Lamine BA¹, Gora Diop¹, Ibrahima Diatta¹,
Lemrabott Habiboullah⁴ and Gregoire Sissoko¹**

1. Laboratory of Semiconductors and Solar Energy, Physics Department, Faculty of Science and Technology, University Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.
2. Ufrset/ University of Thiès, Senegal.
3. Laboratoire de Physique de l'Atmosphère et de l'Océan-SimeonFongang. Ecole Supérieure polytechnique, BP. 5085. UCAD, Dakar Fann.
4. Ecole Supérieure Polytechnique de Nouakchott, département Génie Electrique, Mauritanie.

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 05 January 2021

Final Accepted: 09 February 2021

Published: March 2021

Key words:-

Photopile au silicium, Irradiation, vitesse de recombinaison, Epaisseur Optimum

Abstract

L'influence de l'irradiation de particules chargées (hélium, électrons, protons, ions lourds, etc.) sur une photopile au silicium n^+p sous éclairage d'une lumière monochromatique est considérée dans la détermination de l'épaisseur optimum de la base. Des expressions de la vitesse de recombinaison à la face arrière ($Sb1$ intrinsèque et $Sb2$ dépendante de l'absorption de la lumière) sont comparées graphiquement, donnant les épaisseurs optimales nécessaires pour l'élaboration de photopiles au silicium devant fonctionner dans des cas de flux d'énergie d'irradiation.

Copy Right, IJAR, 2021., All rights reserved.

Introduction:-

Les particules irradiantes provenant de l'espace ont toujours constitué un obstacle sur les performances de la photopile. L'impact de ces particules sur la matière (dislocation, ionisation, défauts) [1] est évalué sur les paramètres phénoménologiques [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8] que les recombinaisons en volume et en surfaces (S_{fo} , S_f , S_b , L , D), et ainsi que les paramètres électriques (résistifs et capacitifs) [9], [10] de la photopile au silicium en régime dynamique fréquentiel. Ces paramètres électriques [11], [12], [13], [14], [15], [16] sont étudiés tantôt en régime statique [17], [18], [19], [20], [21], [22], tantôt en régime dynamique transitoire [23], [24] pour différents types de photopiles, notamment à jonction verticale parallèle [25].

La composition spectrale de la lumière est prise en compte et peut être, polychromatique [26] ou monochromatique [27], [28].

Dans ce travail, il est présenté une technique de détermination de l'épaisseur optimum [29], [30], [31], [32], [33] de la base d'une photopile au silicium, en régime statique, soumise à une lumière monochromatique et placée initialement dans un milieu radiatif par des particules chargées.

Corresponding Author:- Gregoire Sissoko

Address:- Laboratory of Semiconductors and Solar Energy, Physics Department, Faculty of Science and Technology, University Cheikh Anta Diop, Dakar, Senegal.

Théorie:

L'étude porte sur une photopile monofaciale de type n+-p-p+ initialement soumise à un flux d'irradiation de particules chargées et ensuite éclairée par la face avant (grilles) par une lumière monochromatique. Elle est représentée à la figure 1 ci-dessous [34], montrant les différentes zones à savoir, l'émetteur(p+), la zone de charge d'espace (ZCE), la base(p) et la zone(p+) super dopée imposant un champ électrique (BSF) à l'arrière de la base.

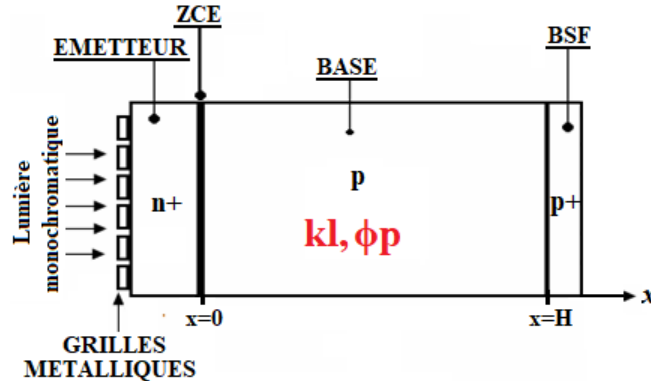


Figure 1:- Photopile monofaciale n+-p-p+ au silicium sous irradiation.

L'équation de continuité des porteurs minoritaires de charges en excès dans la base en régime statique et sous irradiation est donnée par l'équation 1 :

$$D(kl, \phi_p) \times \frac{\partial^2 \delta(x, kl, \phi_p, \alpha_\lambda)}{\partial x^2} - \frac{\delta(x, kl, \phi_p, \alpha_\lambda)}{\tau} + G(x, \alpha_\lambda) = 0 \quad (1)$$

Où :

$D(kl, \phi_p)$: Coefficient de diffusion des électrons dans la base de la photopile sous irradiation ;

$\delta(x, kl, \phi_p, \alpha_\lambda)$: densité des porteurs minoritaires en excès dans la base dépendante de l'irradiation.

τ : durée de vie des porteurs minoritaires, définie par l'expression suivante :

$$\tau = \frac{L^2(kl, \phi_p)}{D(kl, \phi_p)} \quad (2)$$

Avec :

$$L(kl, \phi_p) = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{L_0^2} + kl \times \phi_p}} \quad (3)$$

$L(kl, \phi_p)$: Longueur de diffusion des porteurs minoritaires en excès dans la base en fonction de l'intensité du coefficient de dommage et du flux d'énergie d'irradiation. Elle représente aussi la distance moyenne parcourue par les électrons avant leur recombinaison dans la base sous irradiation [35].

L_0 : Longueur de diffusion des électrons dans la base sans irradiation.

kl : intensité du coefficient de dommage ;

ϕ_p : flux d'énergie d'irradiation.

La vitesse de génération des paires électron-trou issues de la lumière monochromatique est mesurée par le taux de génération $G(x)$. Ce taux de génération est donné par la relation qui suit [36] :

$$G(x, \alpha_\lambda) = \alpha_\lambda \times \phi_\lambda \times (1 - R_\lambda) \times \exp(-\alpha_\lambda \cdot x)$$

(4)

α_λ : coefficient d'absorption monochromatique du matériau pour une longueur d'onde λ ,

R_λ : coefficient de réflexion monochromatique du matériau pour une longueur d'onde λ ,

ϕ_λ : flux incident de la lumière monochromatique,

x : profondeur dans la base de la photopile.

La résolution de l'équation 1 permet d'obtenir l'expression de la densité des porteurs minoritaires dans la base sous irradiation définie comme suit :

$$\delta(x, kl, \phi_p, \alpha_\lambda) = A \times ch\left(\frac{x}{L(kl, \phi_p)}\right) + B \times sh\left(\frac{x}{L(kl, \phi_p)}\right) + K(kl, \phi_p, \alpha_\lambda) \times \exp(-\alpha_\lambda \cdot x) \quad (5)$$

Avec :

$$K(kl, \phi_p, \alpha_\lambda) = \frac{-\alpha_\lambda \times \phi_\lambda \times (1 - R_\lambda) \times L^2(kl, \phi_p)}{D(kl, \phi_p) \times [\alpha_\lambda^2 \times L^2(kl, \phi_p) - 1]}$$

(6)

Les constantes A et B sont déterminées à partir des conditions aux limites :

i) A la jonction émetteur-base ($x = 0$)

$$\left. \frac{\partial \delta(x, kl, \phi_p, \alpha_\lambda)}{\partial x} \right|_{x=0} = \frac{S_f}{D(kl, \phi_p)} \times \delta(0, kl, \phi_p, \alpha_\lambda) \quad (7)$$

S_f : représente la vitesse de recombinaison des porteurs de charges à la jonction imposée par la charge extérieure et caractérise aussi le point de fonctionnement de la photopile variant du circuit ouvert au court-circuit [37], [38].

ii) A la face arrière ($x = H$)

$$\left. \frac{\partial \delta(x, kl, \phi_p, \alpha_\lambda)}{\partial x} \right|_{x=H} = \frac{-S_b(kl, \phi_p, \alpha_\lambda)}{D(kl, \phi_p)} \times \delta(H, kl, \phi_p, \alpha_\lambda) \quad (8)$$

S_b : représente la vitesse de recombinaison des porteurs de charges à la face arrière. Elle est la conséquence du champ électrique créé par la jonction pp+ et caractérise le comportement des porteurs de charges au niveau de l'interface base-BSF [39][40][41].

L'expression de la densité de photocourant sous irradiation est définie par l'expression suivante :

$$Jph(S_f, kl, \phi_p, \alpha_\lambda) = q \times D(kl, \phi_p) \times \left[\frac{B(S_f, kl, \phi_p, \alpha_\lambda)}{L(kl, \phi_p)} - K(kl, \phi_p, \alpha_\lambda) \times \alpha_\lambda \right] \quad (9)$$

(9)

Où :

$$B(S_f, kl, \phi_p, \alpha_\lambda) = K(kl, \phi_p, \alpha_\lambda) \times L(kl, \phi_p) \times \left[\frac{L(kl, \phi_p) \times S_f \times (S_b(kl, \phi_p, \alpha_\lambda) - \alpha_\lambda \times D(kl, \phi_p)) \times \exp(-\alpha_\lambda \times H) - (\alpha_\lambda \times D(kl, \phi_p) + S_f) \times Q}{N \times ch\left(\frac{H}{L(kl, \phi_p)}\right) + (D^2(kl, \phi_p) + L^2(kl, \phi_p) \times S_f \times S_b(kl, \phi_p, \alpha_\lambda)) \times sh\left(\frac{H}{L(kl, \phi_p)}\right)} \right] \quad (10)$$

Avec :

$$N = D(kl, \phi_p) \times L(kl, \phi_p) \times (S_f + S_b(kl, \phi_p, \alpha_\lambda)) \quad (11)$$

$$Q = D(kl, \phi_p) \times sh\left(\frac{H}{L(kl, \phi_p)}\right) + L(kl, \phi_p) \times Sb(kl, \phi_p, \alpha_\lambda) \times ch\left(\frac{H}{L(kl, \phi_p)}\right)$$

(12)

Aux grandes vitesses de recombinaison à la jonction (condition de court-circuit de la photopile), la densité de photocourant est constante. Cette valeur constante correspond au courant de court-circuit, et ceci permet d'établir l'équation suivante :

$$\left. \frac{\partial J_{ph}(Sf, kl, \phi_p, \alpha_\lambda)}{\partial Sf} \right|_{Sf \geq 4 \times 10^4 \text{ cm.s}^{-1}} = 0$$

(13)

La résolution de cette équation (13) permet d'obtenir deux solutions de la vitesse de recombinaison des porteurs de charges à la face arrière [38], [41] : $Sb(kl, \phi_p)$ électronique et $Sb1(kl, \phi_p, \alpha_\lambda)$ qui dépend du coefficient d'absorption de la lumière monochromatique pour une longueur d'onde λ .

$$Sb(kl, \phi_p) = -\frac{D(kl, \phi_p)}{L(kl, \phi_p)} \times th\left(\frac{H}{L(kl, \phi_p)}\right) \quad (14)$$

(15)

Résultats et Discussions:-

Densité des porteurs minoritaires de charge:

La **figure 2**, montre les profils de la densité des porteurs de charges en fonction de la profondeur de la base pour différents flux d'énergie d'irradiation et pour un coefficient d'absorption de la lumière monochromatique de valeur grande (courte longueur d'onde), correspondant à une forte absorption près de la jonction(n+/p)

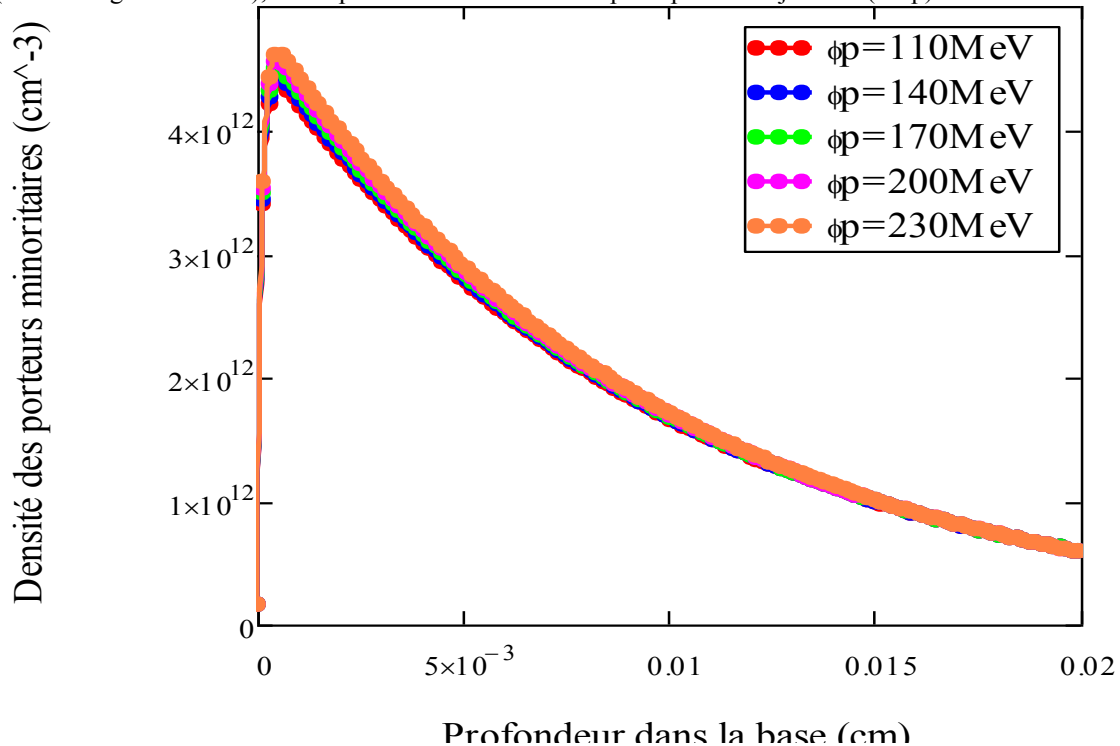


Figure 2 :- Densité de porteurs de charges minoritaires en fonction de la profondeur de la base pour différentes valeurs de ϕ_p avec $Sf=6 \times 10^6 \text{ cm/s}$, $Sb1(kl, \phi_p, \alpha_\lambda)$, $kl=5 \text{ cm}^2/\text{MeV}$ et $\alpha=8800 \text{ cm}^{-1}$

Densité de photocourant:-

La **figure 3**, illustre les courbes de la densité de photocourant en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction pour différents flux d'énergie d'irradiation et pour un coefficient d'absorption de la lumière monochromatique de valeur grande (courte longueur d'onde).

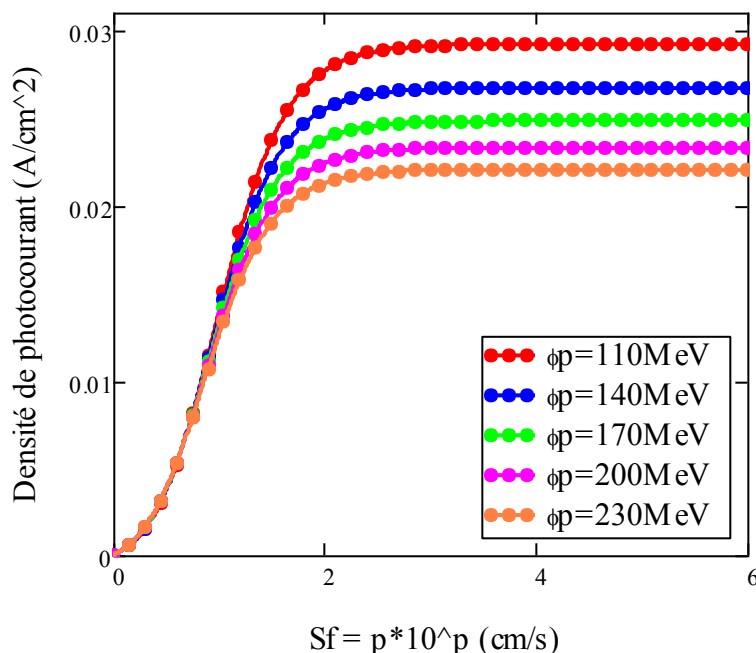


Figure 3:-Densité de photocourant en fonction de la vitesse de recombinaison à la jonction pour différentes valeurs de ϕ_p avec $Sb1(kl, \phi_p, \alpha_\lambda)$, $kl=5 \text{ cm}^{-2}/\text{MeV}$ et $\alpha=8800 \text{ cm}^{-1}$

La **figure 3**, montre la densité de photocourant quasi nulle pour des vitesses de recombinaison (S_f) inférieures à 10 cm/s (photopile fonctionnant en situation de circuit ouvert).

Ensuite pour $10 \text{ cm/s} < S_f < 2 \cdot 10^2 \text{ cm/s}$, la densité de photocourant augmente avec la vitesse de recombinaison pour atteindre une amplitude maximale, correspondant au photocourant de court-circuit.

La **figure 3**, montre aussi que le maximum de la densité de photocourant diminue avec l'accroissement du flux d'énergie d'irradiation, provoquant

Détermination de l'épaisseur optimum:

La **figure 4**, représente la technique de détermination de l'épaisseur optimum de la base par la méthode graphique à travers les expressions de la vitesse de recombinaison à la face arrière pour différent flux d'énergie d'irradiation et pour un coefficient d'absorption de la lumière monochromatique de valeur grande (courte longueur d'onde).

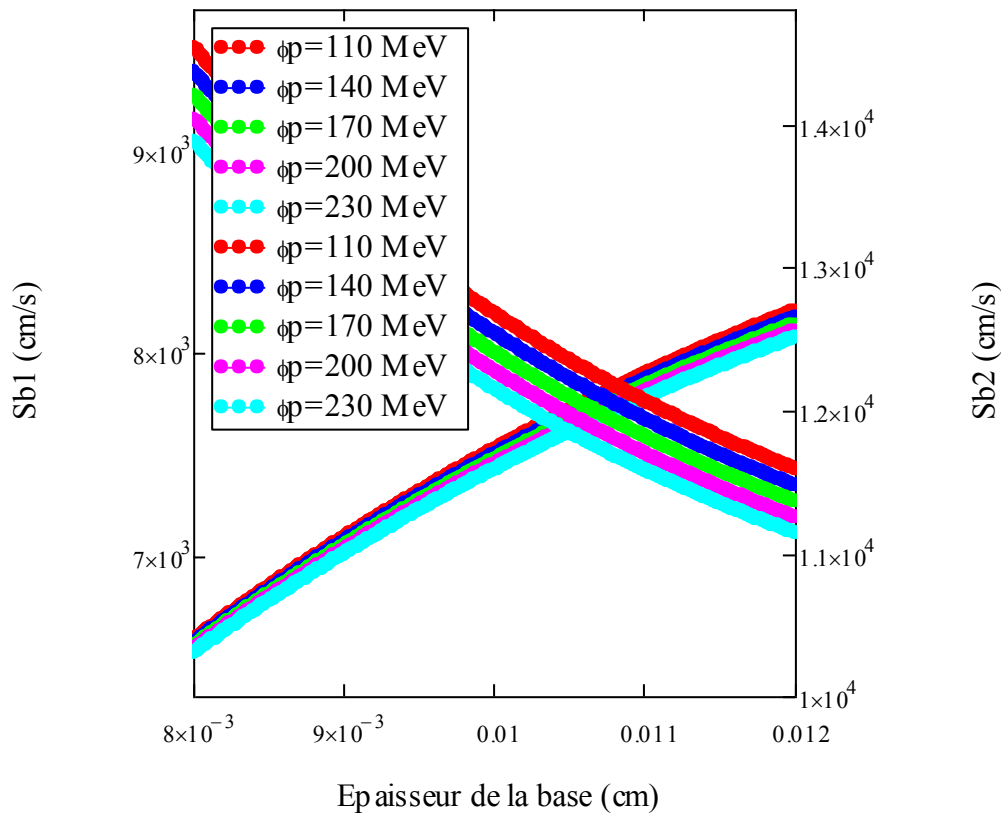


Figure 4:- Vitesse de recombinaison à la face arrière en fonction de l'épaisseur de la base pour différentes valeurs du flux d'irradiation avec $kl=5 \text{ cm}^{-2}/\text{MeV}$, $\alpha=8800 \text{ cm}^{-1}$

Tableau 1, présente les valeurs optimums de l'épaisseur de la base pour différentes valeurs du flux d'irradiation.

Tableau 1:- Valeurs numériques de l'épaisseur optimum pour différent ϕ_p avec $kl=5 \text{ cm}^{-2}/\text{MeV}$ et $\alpha=8800 \text{ cm}^{-1}$.

ϕ_p (MeV)	110	140	170	200	230
Hopt (cm)	0.01082	0.01074	0.01066	0.01058	0.01050

La **figure 5**, représente le profil de l'épaisseur optimum en fonction du flux d'irradiation.

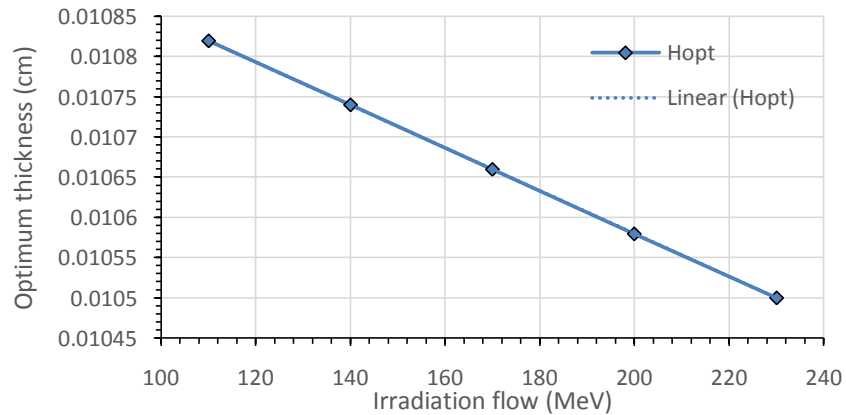


Figure 5:- Optimum thickness versus irradiation flow

L'expression (16) suivantes définit une équation de corrélation entre l'épaisseur optimum et le flux d'irradiation :

$$Hopt(\phi_p) = \xi * \phi_p + \chi \quad (16)$$

$$\xi = -3 * 10^{-6} \text{ cm.MeV}^{-1} \quad \chi = 111 * 10^{-4} \text{ cm}$$

Des travaux récents [43] [44] ont en effet montré cette diminution de l'épaisseur optimum selon le coefficient d'absorption du matériau. L'effet combiné de la longueur d'onde de la lumière excitatrice et ainsi que sa fréquence de cette lumière [45] confirme cette diminution de l'épaisseur optimum.

Conclusion:-

L'épaisseur optimum de la base de la photopile au silicium cristallin a été déterminée à l'aide du concept de la vitesse de recombinaison des porteurs minoritaires de charge en face arrière. La photopile est soumise à une variation du flux d'irradiation par de particules chargées et à une excitation lumineuse (petite longueur d'onde) correspondant à un coefficient d'absorption de grande valeur.

L'étude montre que les grandes valeurs du coefficient d'absorption de la lumière monochromatique imposent de faibles valeurs de l'épaisseur optimum en tenant compte de l'influence de l'irradiation.

References:-

- [1] Martin, J.E. (2013) Physics for Radiation Protection: A Handbook. 3rd Edition, Wiley-VCH, Hoboken.
- [2] Ndiaye, E.H., Sahin, G., Dieng, M., Thiam, A., Diallo, H.L., Ndiaye, M. and Sissoko, G. (2015) Study of the Intrinsic Recombination Velocity at the Junction of Silicon Solar under Frequency Modulation and Irradiation. Journal of Applied Mathematics and Physics, 3, 1522-1535. <https://doi.org/10.4236/jamp.2015.311177>
- [3] Fatimata Ba, BoureimaSeibou, Mamadou Wade, Marcel SitorDiouf, Ibrahima Ly and GrégoireSissoko, (2016) Equivalent Electric Model of the Junction Recombination Velocity limiting the Open Circuit of a Vertical Parallel Junction Solar Cell under Frequency Modulation. IPASJ International Journal of Electronics & Communication (IJEC), Volume 4, Issue 7, pp.1-11, <http://www.ipasj.org/IJEC/IJEC.htm>
- [4] MouhamadouMousliou Diallo, SeniTamba, BoureimaSeibou, Mohamed LemineOuldCheikh, IbrahimaDiatta, El HadjiNdiaye, YoussouTraore, CheikhTidianeSarr, GregoireSissoko, (2017) Impact of irradiation on the surface recombination velocity of a back side monochromatic illuminated bifacial silicon solar cell under frequency modulation. Journal of Scientific and Engineering Research, 4(1), pp.29-40, www.jsaer.com
- [5] AmadouDiao, Mamadou Wade, MoustaphaThiame, GrégoireSissoko, (2017). Bifacial Silicon Solar Cell Steady Photoconductivity under Constant Magnetic Field and Junction Recombination Velocity Effects. Journal of Modern Physics, 8, pp.2200-2208
- [6] Gueye, M., Diallo, H.L., Moustapha, A.K.M., Traore, Y., Diatta, I. and Sissoko, G. (2018) Ac Recombination Velocity in a Lamella Silicon Solar Cell. World Journal of Condensed Matter Physics, 8, 185-196. <https://doi.org/10.4236/wjcmp.2018.84013>
- [7] YoussouTraore, NdeyeThiam, MoustaphaThiame, AmaryThiam, MamadouLamine Ba, Marcel SitorDiouf, IbrahimaDiatta, OulymataMballo, El Hadji Sow, Mamadou Wade, GrégoireSissoko, (2019) AC Recombination Velocity in the Back Surface of a Lamella Silicon Solar Cell under Temperature. Journal of Modern Physics, 10, pp.1235-1246 <https://www.scirp.org/journal/jmp>
- [8] Ndiaye, A. , Gueye, S. , Mbaye Fall, M. , Diop, G. , Ba, A. , Ba, M. , Diatta, I. , Habiboullah, L. and Sissoko, G. (2020) Diffusion Coefficient at Resonance Frequency as Applied to n+/p/p+ Silicon Solar Cell Optimum Base Thickness Determination. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 12, 145-158. doi: 10.4236/jemaa.2020.1210012
- [9] Ndiaye, M.S., Seibou, B., Ly, I., Diouf, M.S., Wade, M., Mbodji, S. and Sissoko, G. (2016) Irradiation Effect on Silicon Solar Cell Capacitance in Frequency Modulation. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 6, 21-25. <https://www.ijitee.org/>
- [10] Ndéye Madeleine Diop, BoureimaSeibou, Mamadou Wade, Marcel SitorDiouf, Ibrahima Ly, Hawa LY Diallo, GrégoireSissoko, (2016) Theoretical Study of Vertical Parallel Junction Silicon Solar Cell Capacitance under Modulated Polychromatic Illumination: Influence of Irradiation. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE) ISSN: 2278-3075, Volume-6 Issue-3, pp.1-7.
- [11] MamadouLamine Ba, Hawa Ly Diallo, Hamet Yoro Ba, YoussouTraore, IbrahimaDiatta, Marcel SitorDiouf, Mamadou Wade, GregoireSissoko, (2018) Irradiation Energy Effect on a Silicon Solar Cell : Maximum Power Point Determination. Journal of Modern Physics, 9, pp.2141-2155 <http://www.scirp.org/journal/jmp>

- [12] Ould El Moujtaba, M.A., Ndiaye, M., Diao, A., Thiam, M., Barro, I.F. and Sissoko, G. (2012) Theoretical Study of Influence of Irradiation on a Silicon Solar Cell under Multispectral Illumination. *Research Journal of Applied Sciences Engineering and Technology*, 23, 5068-5073.
- [13] I. Ly, M. Wade, H. Ly Diallo, M. A. O. El Moujtaba, O. H. Lemrabott, S. Mbodji, O. Diasse, A. Ndiaye, I. Gaye, F. I. Barro, A. Wereme, G. Sissoko, (2011) Irradiation effect on the electrical parameters of a bifacial silicon solar cell under multispectral illumination. 26th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, pp.785-788.
- [14] Dieng, A.B., Seibou, B., Ndiaye, S.A., Wade, M., Diouf, M.S., Ly, I. and Sissoko, G. (2016) Illumination Wavelength Effect on Electrical Parameters of a Parallel Vertical Junction Silicon Solar Cell under Steady State and under Irradiation. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5, 128-135.
- [15] Ousmane Sow, MamadouLamine Ba, Hamet Yoro Ba, Mohamed AbderrahimOuld El Moujtaba, YoussouTraore, Masse Samba Diop, HabiboullahLemrabott, Mamadou Wade, GrégoireSissoko, (2019) Shunt Resistance Determination in a Silicon Solar Cell : Effect of Flow Irradiation Energy and Base Thickness. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 11, pp.203-216 <https://www.scirp.org/journal/jemaa>
- [16] Ousmane Sow, MamadouLamine Ba, Mohamed AbderrahimOuld El Moujtaba, YoussouTraore, El Hadji Sow, CheikhTidianeSarr, Masse Samba Diop, GrégoireSissoko, (2020) Electrical Parameters Determination from Base Thickness Optimization in a Silicon Solar Cell under Influence of the Irradiation Energy Flow of Charged Particles. *Energy and Power Engineering*, 12, pp.1-15 <https://www.scirp.org/journal/epe>
- [17] E. D. Stokes and T. L. Chu, (1977) Diffusion Lengths in Solar Cells From Short-Circuit Current Measurements » *Applied Physics Letters*, Vol. 30, N°8, pp.425-426.
- [18] M. K. Alam and Y. T. Yeow, (1981) Evaluation of the surface photovoltage method of minority-carrier diffusion length measurement. *Solid Solar Electronics*, Vol. 24, N°12, pp.1117-1119.
- [19] S. K. Sharma, S. N. Singh, B. C. Chakravarty, and B. K. Das, (1986) Determination of minority-carrier diffusion length in a p-silicon wafer by photocurrent generation method. *J. Appl. Phys* vol. 60, N°10, pp.3550-3552.
- [20] S. Madougou, F. Made, M. S. Boukary, and G. Sissoko, (2007)I-V Characteristics for Bifacial Silicon Solar Cell studied under a Magnetic field. *Advanced Materials Research Vols. 18-19*, pp. 303-312.
- [21] B. Zouma, A. S. Maiga, M. Dieng, F. Zougmore, G. Sissoko, (2009) 3D Approach of spectral response for a bifacial silicon solar cell under a constant magnetic field. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, Vol.15, N°1, pp.117-124.
- [22] M. Zoungrana, I. LY, B. Zouma, F. I. Barro, G. Sissoko, (2007) 3D study of bifacial silicon solar cell under intense light concentration and under external constant magnetic field : effect of magnetic field and base depth on excess minority carrier generation. *J. Sci.* Vol. 7, N° 4, pp.73-81.
- [23] I. Gaye, R. Sam, A.D. Seré, I.F. Barro, M.A. Ould El Moujtaba, R. Mané, G. Sissoko, (2012) Effect of irradiation on the transient response of a silicon solar cell. *IJETCS*, Volume 1, Issue 3, pp.210-214, www.ijetcs.org
- [24] Idrissa GAYE, Mohamed AbderrahimOuld El Moujtaba, Ndeye THIAM, Ibrahima TALL and Grégoire SISSOKO, (2014) Influence of Irradiation and Damage Coefficient on the Minority Carrier Density in Transient Response for a Bifacial Silicon Solar Cell. *Current Trends in Technology and Science* ISSN : 2279-0535. Volume : 3, Issue : 2, pp.98-104.
- [25] Avraham GOVER, Paul STELLA(1974).Vertical Multijunction Solar-Cell One-Dimensional Analysis. *IEEE transactions on electron devices*, vol. ED-21, n° 6, pp351-356.
- [26] F. Toure, M. Zoungrana, B. Zouma, S. Mbodji, S. Gueye, A. Diao& G. Sissoko, (2012) Influence of Magnetic Field on Electrical Model and Electrical Parameters of a Solar Cell Under Intense Multispectral Illumination. *Global Journal of Science Frontier Research(A)* Vol. XII, issue VI, Version I, pp.51-59.
- [27] M. Kunst, G. Muller, R. Schmidt and H. Wetzl (1988) Surface and volume decay processes in semiconductors studied by contactless transient photoconductivity measurements. *Appl. Phys.*, Vol. 46, (1988), pp.77-85.
- [28] U. C. Ray And S. K. Agarwal, (1988). Wavelength Dependence of Short-Circuit Current Decay in Solar Cells. *J. Appl. Phys.* 63 (2), pp.547-549.
- [29] Masse Samba Diop, Hamet Yoro Ba, NdeyeThiam, IbrahimaDiatta, YoussouTraore, MamadouLamine Ba, El Hadji Sow, OulymataMballo, GrégoireSissoko (2019) Surface Recombination Concept as Applied to Determinate Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness with Doping Level Effect. *World Journal of Condensed Matter Physics*, 9, pp.102-111 <https://www.scirp.org/journal/wjcmp>
- [30] Ba, M.L., Thiam, N., Thiame, M., Traore, Y., Diop, M.S., Ba, M., Sarr, C.T., Wade, M. and Sissoko, G. (2019) Base Thickness Optimization of a (n+-p-p+) Silicon Solar Cell in Static Mode under Irradiation of Charged Particles. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 11, 173-185. <https://doi.org/10.4236/jemaa.2019.1110012>

- [31] Maimouna Mint ELY, NdeyeThiam, MorNdiaye, YoussouTraore, Richard Mane, El hadji Sow, OulimataMballo, Masse Samba Dieng, CheikhTidianeSarr, Ibrahima Ly, GregoireSissoko, (2020) Surface recombination velocity concept as applied to determinate back surface illuminated silicon solar cell base optimum thickness, under temperature and external magnetic field effects. *Journal of Scientific and Engineering Research*, 7(2), pp.69-77, www.jsaer.com
- [32] Nouh Mohamed MactarOuld Mohamed, Ousmane Sow, Segga Gueye, YoussouTraore, IbrahimaDiatta, AmaryThiam, MamourAmadou Ba, Richard Mane, Ibrahima Ly, GregoireSissoko, (2019) Influence of Both Magnetic Field and Temperature on Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness Determination. *Journal of Modern Physics*, 10, 1596-1605 <https://www.scirp.org/journal/jmp>
- [33] Gora Diop, Hamet Yoro Ba, NdeyeThiam, YoussouTraore, BabouDione, MamourAmadou Ba, PapeDiop, Masse Samba Diop, OulimataMballo and GregoireSissoko, (2019) Base thickness optimization of a vertical series junction silicon solar cell under magnetic field by the concept of back surface recombination velocity of minority carrier. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* Vol. 14, No. 23, pp.4078-4085.
- [34] Nam, L., Rodot, M., Nijs, J., Ghannam, M. and Coppye, J. (1992) Réponse spectrale de photopiles de haut rendement au silicium multicristalline. *Journal de Physique III*, EDP Sciences, 2, pp.1305-1316. <https://doi.org/10.1051/jp3:1992108>
- [35] Ohshima, T., Sumita, T., Imaizumi, M., Kawakita, S., Shimazaki, K., Kuwajima, S., Ohi, A. and Itoh, H. (2005) Evaluation of the Electrical Characteristics of III-V Compounds Solar Cells Irradiated with Protons at Low Temperatures. *Proceedings of the 31 st IEEE Photovoltaic Specialists Conference Lake Buena Vista*, pp.806-809. <https://doi.org/10.1109/PVSC.2005.1488255>
- [36] Daniel .L. Meier, Jeong-Mo Hwang, Robert .B. Campbell, The Effect of Doping Density and Injection Level on Minority-Carrier Lifetime as Applied to Bifacial Dendritic Web Silicon Solar Cells, 1998, *IEEE Transactions On Electron Devices*, Vol. ED-35, No. 1, pp 70-78
- [37] Sissoko, G., Sivoththanam, S., Rodot, M. and Mialhe, P. (1992) Constant Illumination-Induced Open Circuit Voltage Decay (CIOCVD) Method, as Applied to High Efficiency Si Solar Cells for Bulk and Back Surface Characterization. 11 th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Montreux, pp.352-354.
- [38] Diallo, H.L., Seidou, A., Maiga, Wereme, A. and Sissoko, G. (2008) New Approach of Both Junction and Back Surface Recombination Velocities in a 3D Modelling Study of a Polycrystalline Silicon Solar Cell. *The European Physical Journal Applied Physics*, 42, pp.203-211. <https://doi.org/10.1051/epjap:2008085>
- [39] Rose, B.H. and Weaver, H.T. (1983) Determination of Effective Surface Recombination Velocity and Minority-Carrier Lifetime in High-Efficiency Si Solar Cells. *Journal of Applied Physics*, 54, pp.238-247. <https://doi.org/10.1063/1.331693>
- [40] Joardar, K., Dondero, R.C. and Schroda, D.K. (1989) Critical Analysis of the Small-Signal Voltage-Decay Technique for Minority-Carrier Lifetime Measurement in Solar Cells. *Solid State Electronics*, 32, pp.479-483. [https://doi.org/10.1016/0038-1101\(89\)90030-0](https://doi.org/10.1016/0038-1101(89)90030-0)
- [41] Sissoko, G., Museruka, C., Corr  a, A., Gaye, I. and Ndiaye, A.L. (1996) Light Spectral Effect on Recombination Parameters of Silicon Solar Cell. *World Renewable Energy Congress*, Pergamon, Part III, pp.1487-1490.
- [42] Diallo, M.M., Seibou, B., Ba, H.Y., Zerbo, I. and Sissoko, G. (2014) One Dimensional Study of a Bifacial Silicon Solar Cell Illuminated from the Front Surface by a Monochromatic Light under Frequency Modulation. *Current Trends in Technology and Sciences*, 3, pp.416-421.
- [43] Meimouna Mint SidiDede, MorNdiaye, Segga Gueye, MamadouLamine Ba, IbrahimaDiatta, Marcel SitorDiouf, El Hadj Sow, AmadouMamour Ba, MassambaDiop, And GregoireSissoko (2020).Optimum base thickness determination technique as applied to n/p/p+ silicon solar cell under short wavelengths monochromatic illumination *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 Vol. 29 No. 3 Jun. 2020, pp. 576-586    2020 Innovative Space of Scientific Research Journals <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- [44] Meimouna Mint SidiDede, MamadouLamine Ba, MamourAmadou Ba, MorNdiaye, Segga Gueye, El Hadj Sow, IbrahimaDiatta, Masse Samba Diop, Mamadou Wade, GregoireSissoko, (2020).Back Surface Recombination Velocity Dependent of Absorption Coefficient as Applied to Determine Base Optimum Thickness of an n+/p/p+ Silicon Solar Cell. *Energy and Power Engineering*, 12, 445-458 <https://www.scirp.org/journal/epe>
- [45] Ndiaye, A. , Gueye, S. , Sow, O. , Diop, G. , Ba, A. , Ba, M. , Diatta, I. , Habiboullah, L. and Sissoko, G. (2020) A.C. Recombination Velocity as Applied to Determine n⁺/p/p⁺ Silicon Solar Cell Base Optimum Thickness. *Energy and Power Engineering*, 12, 543-554. doi: 10.4236/epe.2020.1210033.