

التلف الحاصل للخلايا الشمسية نتيجة تعريضها للتشعيع بالإلكترونات

الدكتور عدنان زين الدين *

(قبل للنشر في 2003/2/2)

□ الملخص □

يتناول هذا البحث التلف الحاصل للخلايا الشمسية نتيجة لتعرضها للتشعيع بالإلكترونات. قمنا بتعريض هذه الخلايا لحزم من الإلكترونات ذات تدفق متغير لخلق عيوب فيها تلعب دوراً أساسياً كمراكز إعادة اتحاد غير مشعة (non-radiative recombination centers). وسعينا لخلق نفس الظروف التي تتعرض لها الخلية الشمسية في الفضاء الخارجي، ثم درسنا التغيرات التي تطرأ على الخصائص الفولطية الضوئية لهذه الخلايا. بينت القياسات أن جهد الدارة المفتوحة لخلية شمسية GaAs يتغير بتابعة جرعة التشعيع الإلكتروني j والتي تقع ضمن المجال:

$$2 \times 10^{12} \text{elec.cm}^{-2} < j < 5 \times 10^{15} \text{elec.cm}^{-2}$$

ووجدنا أنه يساوي:

$$V_{oc} = 1.22 - 0.04 \log j \quad V$$

$$V_{oc} = 2.39 - 0.12 \log j \quad V$$

لكل من منطقتي الانتشار وإعادة الاتحاد على الترتيب.

وقد وجدنا أن كثافة تيار الدارة المقصورة J_{sc} تتغير مع تغير جرعة التشعيع الإلكتروني وفق العلاقة:

$$J_{sc} = 62.47 - 3.45 \log j \quad \text{mA.cm}^{-2}$$

يظهر تلف الخلايا الشمسية التي درسناها في تناقص الاستطاعة العظمى لها نتيجة تزايد j .

تم إجراء القياسات في مختبر الأوساط غير المنتظمة واللامتجانسة، جامعة بيبير وماري كوري (باريس VI) فرنسا عام 2001، 2002

Degradation of GaAs Solar Cells Induced By Electron Irradiation

Dr. Adnan Zein Eddine*

(Accepted 2/2/2003)

□ ABSTRACT □

This article deals with the degradation of solar cells induced by electron irradiation. We have exposed GaAs solar cells to different doses of accelerated electrons to create defects, which play an important role as non-radiative recombination centers.

We try to achieve the same conditions to which the solar cells are exposed to in outer space. We have studied the variation of the photovoltaic characteristics of these cells versus electron flux.

We found out that the open – circuit voltage of GaAs solar cells varies with the electron irradiation dose j , which we varied in the interval:

$$2 \times 10^{12} \text{ elec.cm}^{-2} < j < 5 \times 10^{15} \text{ elec.cm}^{-2}$$

and we found out that:

$$V_{oc} = 1.22 - 0.04 \log j \quad \text{V}$$

$$V_{oc} = 2.39 - 0.12 \log j \quad \text{V}$$

for both, the diffusion and the recombination zones respectively.

The density of the short-circuit current has been measured and we found that the current varies with the electron irradiation dose, according to the relation:

$$J_{sc} = 62.47 - 3.45 \log j \quad \text{mA.cm}^{-2}$$

The degradation of solar cells appears from the decrease of the maximum power when (j) increases.

The measurements have been carried out at the “Laboratoire des Milieux désordonnés et Hétérogènes, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), France 2001-2002.

*Associate Professor at Physic Department, Faculty of Sciences, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يعتبر التشعيع الإلكتروني من الوسائل السهلة التي تسمح بإدخال عيوب في الخلايا الشمسية بطريقة دقيقة ومراقبة.

إن طبيعة هذه العيوب معروفة نسبياً على الأقل في حالة أنصاف النواقل المستخدمة حالياً في صنع المتصلات الثنائية، وخاصة تلك العيوب التي تلعب دوراً أساسياً كمراكز إعادة اتحاد غير مشعة، أي الانتقال من سوية طاقة إلى أخرى بواسطة سوية مساعدة تقع بين السويتين السابقتين ضمن المجال المحظور لقد تمت دراسة الخلايا الشمسية بعد تشعيها لإلكترونات من مسرع، من النوع (Van de Graaf) يحرر حزمًا من الإلكترونات بطاقة 1MeV وكثافة تيار من مرتبة $10^{-2} \mu A.cm^{-2}$ ويسمح بالحصول على تركيز متجانس للإلكترونات، [1].

أما الإضاءة التي عرضنا لها الخلية الشمسية فهي قريبة جداً من الإضاءة التي تتعرض لها هذه الخلية عندما تكون في الفضاء الخارجي وهي من مرتبة 1AMO، وهي عبارة عن مزيج لإضاءة مصباحين، الأول من النوع كوارتز + هالوجين (Qt H) تسلط إنارته مباشرة على الخلية الشمسية، أما الثاني فهو من الإكزيونون (Xenon) يسلط على الخلية الشمسية بواسطة مرآة شفافة وعاكسة توضع أمام المصباح بزاوية 45° .

الهدف من البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة الخلايا الشمسية في ظروف مشابهة قدر الإمكان للظروف التي تتعرض لها هذه الخلايا في الفضاء الخارجي. ولهذا استخدمنا خلايا شمسية عالية الجودة من إنتاج شركة Emcore الفرنسية مساحتها $2cm \times 2cm$ ، وهي خلايا GaAs (غالسيوم أرسنيد) من النوع p^+n محضرة بطريقة MOCVD [2] (metal organic chemical vapor deposition)، ومنمأة على قاعدة n، مشوبة بتركيز: $4x 10^{17} cm^{-3}$. [3].

لقد تمت دراسة هذه الخلايا على الشكل التالي:

- 1- قياس الميزة $I=f(V)$ لهذه الخلايا في حالتها الإضاءة والظلام، وقياس تحويلاتها بتابعية جرعة التشعيع الإلكتروني ϕ .
- 2- دراسة تحويلات كل من جهد الدارة المفتوحة V_{oc} وكثافة تيار الدارة المقصورة J_{sc} بتابعية $\log \phi$.
- 3- قياس الاستطاعة العظمى P_{max} ، ومن ثم حساب عامل الملء (fill factor) لهذه الخلايا.

آلية التلف:

يقصد بالتلف التناقص الذي يطرأ على كل من V_{oc} ، J_{sc} عندما تزداد جرعة التشعيع الإلكتروني التي تؤدي إلى تشكل عيوب (defects) في الخلايا الشمسية.

1- كثافة تيار الدارة المقصورة J_{sc} :

إن التيار الكهربائي $I(V)$ الناتج عن الخلايا الشمسية من أجل جهد [4] V ، هو الفرق بين التيار المتولد عن إضاءة الخلية الشمسية I_{ph} والتيار بدون إضاءة $I_{dc}(V)$ والناتج عن استقطاب الخلية الشمسية مباشرةً بالجهد V ونكتب:

$$I(V) = I_{ph} - I_{dc}(V) \quad (1)$$

إن تيار القوة المحركة الكهربائية للخلايا الشمسية هو تيار الدارة المقصورة والذي نحصل عليه بجعل $I(V)=0$ في العلاقة السابقة، وهذا يعطي:

$$I_{dc}(V_{oc}) = I_{ph} = I_{sc} \quad (2)$$

حيث I_{sc} هو تيار الدارة المقصورة.

إن كثافة تيار الدارة المقصورة J_{sc} هو مجموع كل من كثافة تيار الانتشار (J_d) للإلكترونات والتقوب J_{dn} , J_{dp} في كل طرف من المتصل الثنائي وكثافة تيار التوالد (J_{gr}) والنتائج عن توليد زوج إلكترون - ثقب، $(e^-, +)$.

إن مراكز إعادة الاتحاد غير المشعة الناتجة عن التشعيع الإلكتروني تقلل من عمر الحوامل الأقلية وهذا يؤدي إلى نشوء تيار إعادة الاتحاد J_r ، ونكتب بصورة عامة العلاقة:

$$J_{sc} = J_d + J_{gr} + J_r \quad (3)$$

إن معدل إعادة الاتحاد لشوكلي-ريد (Schockley-Read) [5]، في نظام الدارة المقصورة ($V @ 0$) يكون

$$np @ n_{po} = n_i^2 \quad \text{صغيراً جداً لأن:}$$

وبالتالي فإن $J_r=0$ أما J_{gr} فيمكن اعتباره ثابتاً، ومنه فإن تناقص J_{sc} هو تناقص J_d [6].

لندرس تغيرات J_d بتأثير جرة التشعيع الإلكتروني ϕ :

إذا كان عرض قاعدة الخلية الشمسية d_n كبيراً بالنسبة لمسافة الانتشار L_p لحوامل الشحنة الأقلية ($L_p > d_n$)، فإن J_d يكتب على الشكل [4]:

$$J_d = q \int_0^{L_p} \frac{f(l) a(l) L}{1 + a(l) L} \exp[-a(l)(d+W)] dl \quad (4)$$

حيث $f(\lambda)$ تدفق الضوء من أجل طول الموجه λ ، $\alpha(\lambda)$ معامل الامتصاص لمادة المتصل، W عرض المنطقة الخالية من الشحنات الحرة، λ_2 طول الموجة الموافقة لنهاية الامتصاص أي القطاع المحظور E_g لمادة

المتصل $\lambda_2 = \frac{hc}{E_g}$ ، بينما λ_1 هي أصغر قيمة لطول الموجة والتي من أجلها لا يمكن إهمال المقدار $f(\lambda)$

(f).

إن التيار J_d غير مهمل عندما يكون $a(l)(d+W)$ صغيراً جداً، وفي هذه الحالة يكون:

$$c(l) = \exp[-a(l)(d+W)] \gg 1 \quad (5)$$

أما من أجل الطيف الشمسي فإن المقدار $f(l) c(l)$ يتغير ببطء ضمن مجال طول الموجة (λ_1, λ_2) ، لذلك يمكننا اعتباره ثابتاً مساوياً A . أما معامل الامتصاص، فيمكن كتابته على شكل تابع أسّي، [7], [8]

$$a(l) = a(0) \exp(-rl) \quad (6)$$

حيث r تمثل مقلوب عمق منطقة الانتشار.

مما تقدم، يمكن أن نكتب علاقة كثافة تيار الانتشار على الشكل:

$$J_d = (7) \quad qA \int_{l_1}^{l_2} \frac{a(l)L}{1+a(l)L} dl$$

بمفاضلة العلاقة (6) نجد:

$$dl = - \frac{1}{r} \frac{da(l)}{a(l)} \quad (8)$$

ومنه فإن تيار الانتشار يكتب على الشكل:

$$(9) \quad J_d = \frac{qA}{r} \int_{a(l_2)}^{a(l_1)} \frac{d[La(l)]}{1+La(l)}$$

بإجراء التكامل نجد:

$$J_d = \frac{qA}{r} [\ln(a(l_1) + L^{-1}) - \ln(a(l_2) + L^{-1})] \quad (10)$$

من أجل $l_2 > l_1$ يكون لدينا $a(l_2) \gg a(l_1)$. عادةً $a(l_1)$ تكون كبيرة بالنسبة للمقدار L^{-1} ولكن هذا غير صحيح بالنسبة للكمية $a(l_2)$ ولذلك نكتب:

$$J_d = \frac{qA}{r} \left[\ln \frac{a(l_1)}{a(l_2) + L^{-1}} \right] \quad (11)$$

إن التشيع الإلكتروني يقلل من عمر حوامل الشحنة الأقلية وبالتالي يقلل من قيمة L ، أي L^{-1} تكون كبيرة أمام المقدار $a(l_2)$ وبالتالي نكتب العلاقة السابقة على الشكل:

$$(12) \quad J_d = \frac{qA}{r} [\ln a(l_1) - \ln L^{-1}]$$

تعرف مسافة الانتشار بالعلاقة:

$$L = \sqrt{Dt} \quad (13)$$

حيث D معامل الانتشار لحوامل الشحنة الأقلية بينما t عمرها الذي يعطى بالعلاقة:

$$(14) \quad t = (Nsv)^{-1}$$

N تركيز مراكز إعادة الاتحاد، s المقطع الفعال لالتقاط حوامل الشحنة الأقلية، v السرعة الحرارية لحركة هذه الحوامل.

بتعويض هذه المقادير في علاقة تيار الانتشار نجد أخيراً:

$$J_d = \frac{qA}{r} \left[\ln a(l_1) - \ln \left(\frac{Nsv}{D} \right)^{1/2} \right] \quad (15)$$

إن مراكز إعادة الاتحاد الناتجة عن التشيع الإلكتروني تتشكل بمعدل k [9]، بحيث أن:

$$N = kj \quad (16)$$

$$(17) \quad J_d = \frac{qA}{r} \left[\ln a(l_1) - \ln \left(\frac{ksv}{D} \right)^{1/2} - \frac{1}{2} \ln j \right]$$

أي أن J_d يتناقص خطياً مع $\ln j$ ونكتب:

$$J_d = x - r \log j \quad (18)$$

تمثل هذه العلاقة مستقيماً في المستوي $(\log j, J_d)$ ميله r ، أما x فتمثل قيمة كثافة تيار الانتشار عندما $(r \log j = 0)$ ، والتي تتضمن خصائص مراكز إعادة الاتحاد ولها القيمة:

$$x = \frac{qA}{r} \left[\ln a(l_1) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{ksv}{D} \right) \right] \quad (19)$$

أما r فهو يساوي:

$$r = 1.15 \frac{qA}{r} \quad (20)$$

وهو لا يتعلق بمراكز إعادة الاتحاد في الخلية الشمسية والناجمة عن التشعيع الإلكتروني ، بل يتعلق فقط بشروط الإضاءة من خلال الثابت A ، وبمادة المتصل (الخلية الشمسية) من خلال الثابت r الذي يظهر في معامل الامتصاص.

نكتب أخيراً علاقة كثافة تيار الدارة المقصورة (لأن $J_d \gg J_{sc}$):

$$J_{sc} = x - r \log j \quad (21)$$

إن طبيعة العيوب ومدى فاعليتها تظهر من خلال المقدار x ، فعندما يكون العيب أكثر فاعلية يكون المقدار x صغيراً مما يؤدي إلى تلف الخلية الشمسية بسرعة. لتكن القيمة الصغرى لجرعة التشعيع الإلكتروني j_m ، هي التي من أجلها تبدأ كثافة تيار الدارة المقصورة بالتناقص بشكل خطي مع j ، وكلما كان j_m صغيراً ، كان العيب أشد فاعلية ، ونكتب:

$$\log j_m = \frac{x - J_{sc}(0)}{r} \quad (22)$$

تربط هذه العلاقة بين مراكز إعادة الاتحاد المحدثة بالتشعيع الإلكتروني من خلال المقدار x ، ومراكز إعادة الاتحاد الموجودة أصلاً في الخلية الشمسية ، من خلال كثافة تيار الدارة المقصورة $J_{sc}(0)$ ، قبل أن نعرض الخلية الشمسية للتشعيع الإلكتروني.

2 - جهد الدارة المفتوحة V_{oc} :

إن كثافة التيار لمتصل بدون إضاءة عندما يستقطب مباشرة ، هو عبارة عن مجموع كل من كثافة تيار الانتشار وكثافة تيار إعادة الاتحاد [4],[10] وتعطى بالعلاقة:

$$J(V) = J_1 \left[\exp \left(\frac{qV}{kT} \right) - 1 \right] + J_2 \left[\exp \left(\frac{qV}{2kT} \right) - 1 \right] \quad (23)$$

حيث J_1, J_2 كثافة تيار الإشباع لكل منهما ويعطيان في الحالة العامة بالعلاقتين:

$$J_1 = qn_i^2 \left(\frac{1}{N_A} \sqrt{\frac{D_n}{t_n}} + \frac{1}{N_D} \sqrt{\frac{D_h}{t_h}} \right) \quad (24)$$

$$J_2 = \frac{\rho}{2} n_i \frac{kT}{\sqrt{t_n t_h}} \frac{W_0}{\sqrt{V_d}} \quad (25)$$

حيث n_i تركيز حوامل الشحنة الذاتية ، $t_{n,h}$ عمر حوامل الشحنات الأقلية في المنطقتين p, n على الترتيب ، $N_{A,D}$ تركيز الشوائب الآخذة والمانحة في كل طرف من المتصل ، V_d حاجز الكمون ، W_0 عرض المنطقة الخالية من الشحنات الحرة لخلية شمسية غير مستقطبة.

باستخدام العلاقات (13)،(14) و (16) نكتب:

$$J_1 = qn_i^2 \left(\frac{1}{N_A} \sqrt{D_n s_n v_n k j} + \frac{1}{N_D} \sqrt{D_p s_p v_p k j} \right) = J_1^* j^{1/2} \quad (26)$$

وكذلك:

$$J_2 = \frac{p}{2} n_i k T W_0 \left(\frac{k^2 s_n v_n s_p v_p}{V_d} \right)^{1/2} j = J_2^* j \quad (27)$$

في الحالة التي تكون فيها كثافة تيار الخلية الشمسية (المتصل) بدون إضاءة وفي نظام الانتشار يمكن أن نكتب، [11]:

$$J(V) = J_1 \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] - J_{ph} \quad (28)$$

$$J_{dc}(V_{oc}) = J_{sc} = J_{ph} \quad \text{ولكن}$$

$$J(V=V_{oc}) = 0 \Rightarrow J_{ph} = J_1 \exp\left(\frac{qV_{oc}}{kT}\right) \quad (29)$$

وذلك من أجل $qV_{oc} \gg kT$ نجد علاقة تربط بين كثافة تيار الدارة المقصورة وجهد الدارة المفتوحة:

$$J_{ph} = J_{sc} = J_1^* j^{1/2} \exp\left(\frac{qV_{oc}}{kT}\right) \quad (30)$$

أما في الحالة التي تكون فيها كثافة تيار المتصل بدون إضاءة وفي نظام إعادة الاتحاد، سوف نجد العلاقة:

$$J_{sc} = J_2^* j \exp\left(\frac{qV_{oc}}{2kT}\right) \quad (31)$$

بالرجوع إلى العلاقة (30) وفي نظام الانتشار نكتب:

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_1^* j^{1/2}}\right) = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_1^*}\right) - \frac{kT}{2q} \ln j$$

$$V_{oc} = e - h \log j \quad (32)$$

حيث:

$$e = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_1^*}\right) \quad \text{و} \quad h = 2.3 \frac{kT}{2q}$$

أما في نظام إعادة الاتحاد فإن جهد الدارة المفتوحة يكتب بالعلاقة:

$$V_{oc} = \frac{2kT}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_2^* j}\right) = \frac{2kT}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_2^*}\right) - \frac{2kT}{q} \ln j$$

$$V_{oc} = e - h \log j \quad (33)$$

حيث:

$$h = 2.3 \frac{2kT}{q} \quad \text{و} \quad e = \frac{2kT}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_2^*}\right)$$

يمكن أن نكتب بشكل عام:

$$h = 2.3 \frac{kT}{q} i \quad (34)$$

حيث: $i = \frac{1}{2}$ في نظام الانتشار و $i=2$ في نظام إعادة الاتحاد.

النتائج والمناقشة:

لقد عرّضنا هذه الخلايا الشمسية للتشعيع بالإلكترونات، بجرعات تبدأ من 2×10^{12} elec.cm⁻² إلى 5×10^{15} elec.cm⁻² وبطاقة 1MeV، وتأثير هذا الإشعاع يمتد على كامل سطح الخلية الشمسية والذي يساوي 4cm^2 ، أما الإضاءة التي تتعرض لها الخلية الشمسية فهي من مرتبة 1AM0 وبدرجة حرارة الغرفة (300K).

أما المقدار ks فلقد تم حسابه بطريقتين:

- الطريقة الكهربية D.L.T.S. ((deep level transient spectroscopy [6],

- طريقة التآلق الكهربي [12], (electro luminescence),

يمكن أن نكتب في الجدول (I) معاملات الخلية الشمسية المستخدمة GaAs، وهي من النوع p⁺n أي

$N_A \gg N_D$ ، لذلك نأخذ في الحسابات فقط المقادير التي تظهر في مقاماتها N_D :

الجدول I: المعاملات النظرية والتجريبية للخلية الشمسية GaAs

معامل الخلية الشمسية	$a(l_1)$	D	v	N_D	n_i	V_d	W_0	ks	t_0
الوحدة	cm ⁻¹	cm ² s ⁻¹	cm s ⁻¹	cm ⁻³	cm ⁻³	V	μ m	cm	s
GaAs	10^4	200	4.7×10^7	4×10^{17}	10^6	1.2	1.8×10^{-2}	4.89×10^{-13}	2.18×10^{-5}

1: قياس الميزة أمبير - فولت [$I=f(V)$] المباشرة والعكسية في حالتي الإضاءة والظلام:

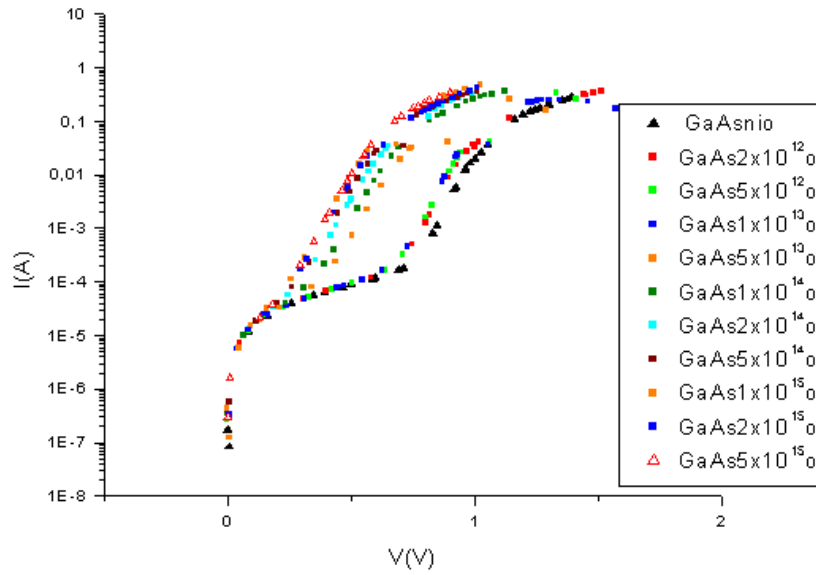
إن كثافة التيار الكهربي لخلية شمسية مستقطبة مباشرة، بدون إضاءة، هي مجموع كل من كثافة تيار الانتشار للإلكترونات والنقوب J_d في المناطق المعتدلة، وكثافة تيار إعادة الاتحاد J_r في المنطقة الخالية من الشحنات الحرة، العلاقة (23). إن الخط البياني $J(V)$ في مستوي نصف لوغاريتمي، يتألف في الحالة العامة من قسمين: أحدهما ميله $\frac{q}{kT}$ يخص كثافة تيار الانتشار، والآخر ميله $\frac{q}{2kT}$ يخص كثافة تيار إعادة الاتحاد. يلاحظ J_r من أجل القيم المتوسطة لفرق الجهد المطبق مباشرة على الخلية الشمسية، أما J_d فيلاحظ من أجل القيم الكبيرة لفرق الجهد المباشر.

تعتبر حالة الاستقطاب العكسي للخلية الشمسية كموضع لظواهر أخرى، هي: مفعول زينر، مرحلة الانهيار، والتي يمكن أن تحجب مرحلتي الانتشار وإعادة الاتحاد.

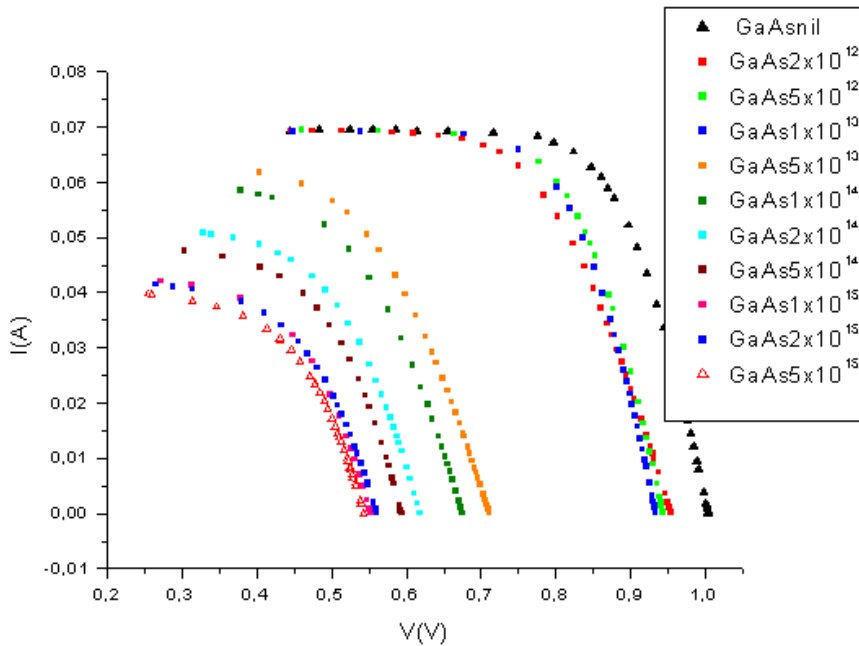
لذلك عندما نعرض الخلية الشمسية لجرعات من التشعيع الإلكتروني فإن الخط البياني $(V_{oc} \log j)$ يسمح فقط بمعرفة طبيعة كثافة التيار، والتناقص الذي يطرأ عليه.

نلاحظ على الشكل (1) تأثير تغير جرعة التشعيع الإلكتروني على الميزة $I=f(V)$ ، حيث يتكرر نفس الخط البياني ضمن مجال الجهد $1.4V-0.2V$ رغم تزايد J .

أما في حالة الإضاءة الشكل (2)، فإن التيار الكهربائي للخلية الشمسية يتناقص مع ازدياد جرعة التشعيع الإلكتروني J ، وأيضاً فرق الجهد وكذلك I_{sc} و V_{oc} لأن تزايد J يعمل على زيادة تركيز مراكز إعادة الاتحاد N في السوية E_i ، ضمن المجال المحظور، مما يزيد من احتمال التقاط حوامل الشحنة الأقلية، ومن العلاقتين (14) و (16) نستنتج أن عمر هذه الحوامل t يتناقص لأنه يتناسب عكساً مع N وبالتالي مع J



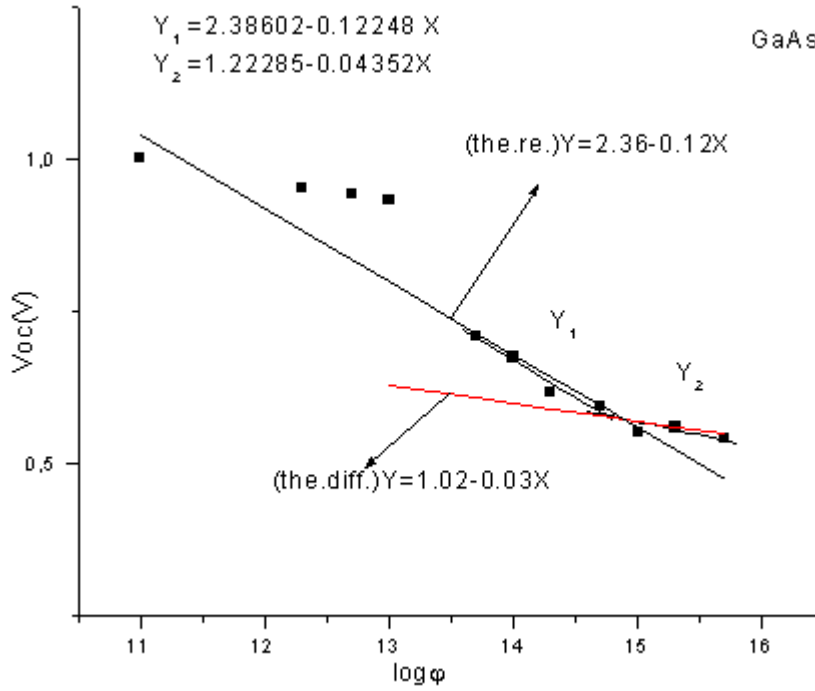
الشكل (1): تغيرات $I=f(V)$ للخلية الشمسية GaAs بدون إضاءة (ob.) مع تغير جرعة التشعيع الإلكتروني J .



الشكل (2): تغيرات $I=f(V)$ للخلية الشمسية GaAs في حالة الإضاءة (lu.) مع تغير جرعة التشعيع الإلكتروني J .

2: قياس فرق الجهد لدارة مفتوحة V_{oc} :

يمثل الشكل (3) المنحني البياني لتغيرات $V_{oc} = f(\log j)$ للخلية الشمسية GaAs. نلاحظ من هذا المنحني أن التناقص في جهد الدارة الكهربائية المفتوحة يبدأ من أجل $\log j_m > 13.3$ (elect.cm⁻²) ، ويمكن أن نحدد على هذا المنحني منطقتي الانتشار وإعادة الاتحاد ، [13]. حيث أن ميل المنحني الأخير يساوي إلى أربعة أضعاف ميل منحنى الانتشار. كذلك فإن النقطة الأولى في منحنى هذا الشكل وفي المنحنيات التالية تعبر عن قيمة المقدار المقاس قبل تعريض الخلية الشمسية للتشعيع الإلكتروني.



الشكل (3): تغيرات جهد الدارة المفتوحة بتابعية لوغاريتم جرعة التشعيع الإلكتروني ج.

من هذا المنحني يمكن أن نستنتج القيم النظرية والتجريبية لمعاملات الخلية الشمسية GaAs، الجدول (II):

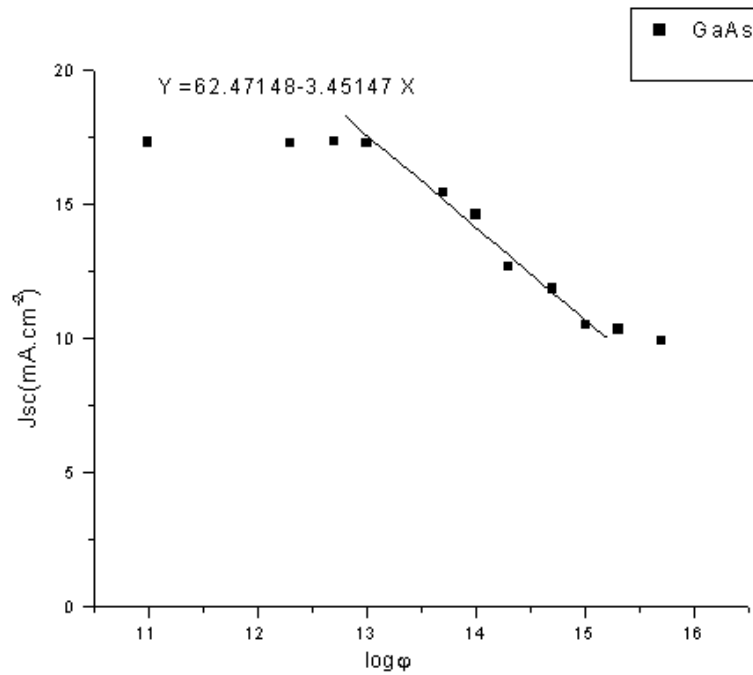
الجدول II : مقارنة بين النتائج النظرية والتجريبية لمعاملات جهد الدارة المفتوحة للخلية الشمسية GaAs.

$V_{oc}(0)$	القيم التجريبية		القيم النظرية		القيم التجريبية		القيم النظرية		معامل الخلية الشمسية
	m_t	m_r	m_t	m_r	e_d	e_r	e_d	e_r	
v	$v (\log j)^{-1}$	$v (\log j)^{-1}$	$v (\log j)^{-1}$	$v (\log j)^{-1}$	v	v	v	v	
1.004	0.04	0.12	0.03	0.12	1.22	2.38	1.02	2.36	GaAs

3: قياس كثافة التيار الكهربائي لدارة مقصورة J_{sc} :

إن تناقص التيار الكهربائي الناتج عن زيادة جرعة التشعيع الإلكتروني j ، الشكل (2)، يسمح لنا بقياس قيمة كثافة تيار الدارة المقصورة J_{sc} لكل جرعة تشعيع إلكتروني وذلك بأخذ قيم نقاط تقاطع المنحنيات البيانية في هذا الشكل مع المحور الرأسي، وقسمتها على قيمة سطح الخلية الشمسية. يمثل الشكل (4) المنحني البياني $J_{sc} = f(\log j)$ للخلية الشمسية GaAs، من هذا المنحني يمكن أن نستنتج القيم التجريبية لكل من r و X ، ومن العلاقة (19) نحسب المقدار ks وبالتالي t_0 [10] زمن عمر حوامل الشحنة الأقلية قبل أن نعرض الخلية الشمسية لجرعة التشعيع الإلكتروني j ، [الجدول I] ([من هذا الشكل نكتب:

$$J_{sc} = 62.47 - 3.45 \log j \quad \text{mA.cm}^{-2}$$



الشكل (4): تغيرات كثافة تيار الدارة المقصورة بتابعة لوغاريتم جرعة التشعيع الإلكتروني j .

يمكن أن نلاحظ التقارب بين هذه القيم التجريبية والقيم النظرية في الجدول (III).

الجدول III: مقارنة بين النتائج النظرية والتجريبية لمعاملات كثافة تيار الدارة المقصورة للخلية الشمسية GaAs.

$J_{sc}(0)$ mA.cm^{-2}	القيم التجريبية		القيم النظرية		معامل الخلية الشمسية
	r mA.cm^{-2}	X $(\log j)^{-1}$ mA.cm^{-2}	r mA.cm^{-2}	X $(\log j)^{-1}$ mA.cm^{-2}	
17.33	3.45	62.47	3.81	57	GaAs

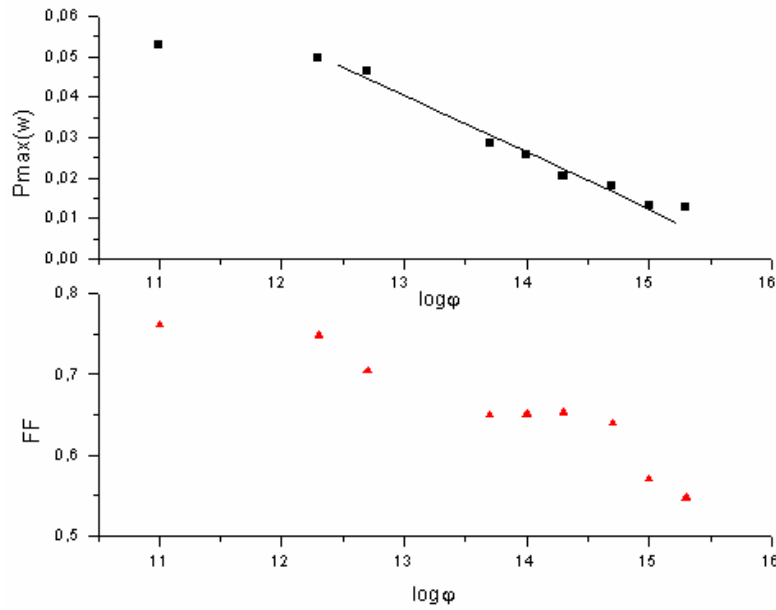
4: قياس الاستطاعة العظمى وعامل الملء للخلية الشمسية:

لقد قمنا بحساب كل من الاستطاعة العظمى وعامل الملء للخلية الشمسية [14], [15], GaAs من العلاقتين

$$P_{\max} = I_m V_m \quad (35)$$

$$FF = \frac{P_{\max}}{I_{sc} V_{oc}} \quad (36)$$

حيث أن I_m و V_m إحداثيات نقطة الاستطاعة العظمى على المحورين I و V على الترتيب، الشكل (2).
نبين على الشكل (5) تحولات كلٍ من P_{\max} و FF بتابعية جرعة التشعيع الإلكتروني J ، نلاحظ التناقص الخطي للاستطاعة العظمى نتيجة العيوب المحدثة في الخلايا الشمسية. كذلك يتناقص عامل الملء من النسبة 75% إلى 55%.



الشكل (5): تغيرات كلٍ من الاستطاعة العظمى وعامل الملء بتابعية تركيز جرعة التشعيع الإلكتروني J .

الخاتمة:

ساهمت هذه الدراسة في تكوين معرفة جيدة عن دور مراكز إعادة الاتحاد الناتجة عن تعرض الخلايا الشمسية للإشعاع الكوني الذي يلعب دوراً أساسياً في تلفها. وبالمقابل وجدنا أن التشعيع الإلكتروني الذي نستخدمه يعمل على خلق مصائد للشحنات الحرة في القطاع المحظور لمادة المتصل الثنائي مما يؤدي إلى تناقص التيار الكهربائي الناتج عنه وبالتالي ينقص من كفاءة هذه الخلايا الشمسية.

المراجع:

.....

- 1- YAMAGUCHI,M.et al.1997 – Superior radiation –resistant properties of InGaP/GaAs tandem solar cells. Appl. Phys. Lett. Vol.70,No.12 pp1566-1568.
- 2- AKIHIRO, M.et al. 2001. Solar Energy Materials &Solar cells. Vol. 66, pp585-592
- 3- KAHN,A.et al.2000.Appl.Phys.Lett.Vol.76, pp2559.
- 4- HOVEL,H.J.1975.Semiconductors and Semimetals, Vol. 11:Solar Cells, Academic Press. New York.
- 5- SHOKLEY,W.1957. Carrier Generation and Recombination in PN Junctions and PN Junctions Characteristics Proc.of the IRE. pp1228.
- 6- BOURGOIN,J.C.and ZAZOUI,M.2002.Semi.Scinc. and Tech.Vol.17,pp453-461.
- 7- DASH, WC. and NEWMAN, R. 1951 – Phys. Rev. Vol. 99, pp 1151.
- 8- HILL, D E. 1964 – Phys. Rev. Vol. 133, pp A866.
- 9- YAMAGUCHI,M.et al.1996.Proc.of the 25th IEEE Photovoltaic Specialists conference, (IEEE 1996,pp 167-170 Washington).
- 10- SIMOEN,E.et al.1996. Appl.Phys.Lett.Vol.69,pp2858.
- 11- FRIEDMAN,D.J.and OLSON,J.M.2001.Prog.Photovol:Res.Appl.Vol.9,pp179-189.
- 12- ZAZOUI,M.and BOURGOIN,J.C.2002.Appl.Phys.Lett.Vol.80,pp4455.
- 13- BOURGOIN,J.C.andDE ANGELIS,N.2001. Sol. Energy Mater. Sol. Cells, Vol. 66, pp467.
- 14- YAMAGUCHI,M.1995.Jour.Appl.Phys.Vol.78,No.3,pp1476-1480.
- 15- CHIANG,P.K.et al.1996. Proc.of the 25th IEEE Photovoltaic Specialists conference, (IEEE 1996,pp 183-186 Washington).

