دراسة تاثير اشعة ليزر الهليوم – كادميوم ذو الطاقة الواطئة على كفاءة الخلايا الشمسية السليكونية المعابة نتيجة الاستعمال

خلدون ناجي عباس
الجامعة المستنصرية – كلية العلوم

الخلاصة

يتضمن هذا البحث دراسة تاثير استخدام اشعة ليزر (الهليوم – كادميوم) ذو الطول الموجي (441.6 nm) وقدرة خرج ليزري (10 mW) وهو من الليزرات الغازية ذات القدرة الواطئة [LPLA] العاملة بالنمط المستمر (CW) على تحسين كفاءة الخلايا الشمسية السليكونية المعابة نتيجة الاستعمال حيث جرى دراسة المعلمات الاساسية لخرج الخلية الشمسية التي من خلالها يتم تحديد كفاءة الخلية الشمسية والمتمثلة بالخصائص الكهربائية في حالة الاضاءة والظلام قبل وبعد المعاملة الليزرية للعينات ولفترات زمنية مختلفة وصولا الى حالة الاستقرار. ففي حالة الظلام بينت الدراسة بان المعاملة الليزرية لاتسبب تاثيرا واضحا في كفاءة الخلية اذ تم ملاحظة عدم وجود تاثير يذكر في كثافة تيار الاشباع العكسي Jo وعامل المثالية n للخلية الشمسية السليكونية من خلال دراسة خصائص (J-V)في حالة الظلام ، أما في حالة الاضاءة فان خصائص (J-V) للخلية الشمسية تحسنت من خلال ملاحظة زيادة ملحوظة في قيم كل من فولتية الدائرة المفتوحة وكثافة تيار دائرة القصر Jsc والقدرة الخارجة Pmax وكذلك عامل الملئ F.F مما يدل على أرتفاع كفاءة الخلية الشمسية المعابة نتيجة الاستعمال.

1- المقدمة

ان عملية البحث المستمر عن بدائل لمصادر للطاقة مستمر وقد توصل المختصون في هذا المجال الى ان من اهم التقنيات الحديثة هي تلك التي تعتمد الطاقة الشمسية كبديل لتلك المصادر الاعتيادية لاسباب ممكن تلخيصها بـ (كونها مصدر مجاني متوفر بصورة دائمة كذلك

فانه غير خطر ونظيف حيث لا يترك اي تاثير سلبي على البيئة)، اذ يعد التحويل المباشر للأشعة الشمسية الى طاقة كهربائية عبر الخلايا الشمسية اهم تلك التقنيات الجديدة والكفؤة، وقد توصل الباحثون الى ان اهم المواد التي من الممكن ان تستخدم في تصنيع هذه الخلايا الشمية هي مركبات المجموعات (II–IV) كخلايا كبريت الصوديوم ومركبات المجموعات (I-II-VI) كالخلايا ($CuInS_2$ &_$CuInSe_2$) ، اذ تلعب عرض فجوة الطاقة لهذه المواد التي تتراوح قيمتها ما بين ev (0.6-1.6) دورا اساسيا في اختيارها كطبقات ماصة للاشعة الشمسية. وهناك بحوث ومشاريع كثيرة على مستوى العالم وضفت لاجل استثمار هذا النوع من مصادر الطاقة وتطوير تقنياته من خلال محاولة الوصول الى افضل الطرق التي تؤدي الى تخفيض كلف انتاج الخلايا الشمسية وزيادة كفاءتها باستخدام مواد تقلل من انعكاس الضوء الساقط على هذه الخلايا اضافة الى تسهيل طرق إنتاجها وتخفيض تكاليفها [1,2,3].

وفي بحثنا هذا تضمنت الدراسة تاثير استخدام اشعة ليزر الهليوم – كادميوم ذو القدرة الواطئة في مجال تحسين كفاءة الخلايا الشمسية المعابة، حيث يمكن اعتبار اشعة الليزر مصدر مركز للطاقة الحرارية ففي الكثير من البحوث العلمية الان يتم استخدام هذا النوع من الليزرات ذات القدرات الواطئة في اعادة توزيع الشوائب في العينات وفي التلدين السطحي للطبقات الرقيقة والذي يؤدي الى زيادة معامل الامتصاص للمواد الملدنة والذي يصاحبه نقصان في معامل النفوذية للمادة المعالجة بالليزر وهذا يسبب انخفاض في قيمة طاقة المجال المحظور المباشر (**Eg**) وغير المباشر (**Egi**) للطبقة الماصة في الخلايا الشمسية مما يساهم في تحويل جزء من الاشعة الشمسية التي طاقتها ($h\upsilon$) والتي تقع ضمن مجال (Δ Eg) و(Δ Egi) الى طاقة كهربائية يستفاد منها في حياتنا اليومية ، وهي احدى تطبيقات اشعة الليزر الواسعة في مختلف التطبيقات الصناعية والطبية والاتصالات وغيرها وكل هذه التطبيقات تعتمد على خصائص اشعة الليزر المستخدم[4,3] .

2– <u>الجزء العملي</u>

في هذا البحث تم استخدام خلايا شمسية سليكونية مصنعة نوع (p-n) ذات كفاءة قليلة نتيجة الاستعمال مصنعة من قبل شركة (Itiar solar Co.) ,كانت مساحتها ($1\ cm^2$). كذلك تم استخدام اشعة ليزر الهليوم – كادميوم ($He\text{-}Cd^{2+}$) واطيء القدرة (10 mw)،مصنع من قبل شركة (kimmon koha Co.) وتم دراسة تاثير زمن التلدين على خصائص الخلايا الشمسية من

خلال دراسة الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية (J-V) ومنه تم حساب (Ideality factor) عامل المثالية باستخدام العلاقة[5] .

$$n = (q / k_B t) \; ((V_a / \ln (J/J_o)) \quad \ldots\ldots\ldots(1)$$

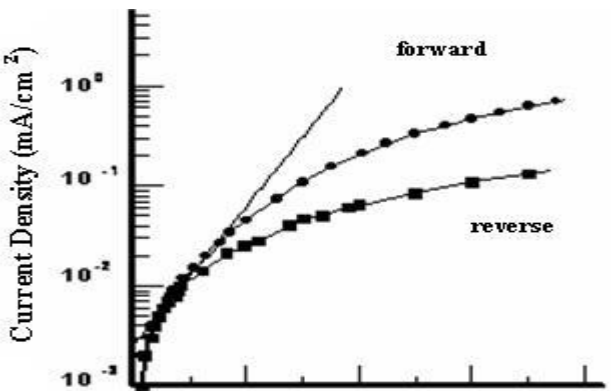
J_o : كثافة تيار الاشباع العكسي

V_a : جهد الانحياز المسلط

ومن الجدير بالذكر هو ان استجابة المواد لاشعة الليزر يختلف باختلاف الطول الموجي والطاقة ونمط تشغيل ان كان نبضيا او مستمرا(pulsed or CW) بالنسبة الى الليزر المستخدم[4]

3- **النتائج والمناقشة**

تستخدم عادة ثلاثة معلمات (Parameters) لدراسة معالم خرج الخلية الشمسية الاول هو (short circuit current) تيار دائرة القصر والثاني (open circuit voltage) فولتية الدائرة المفتوحة والثالث (Fill factor) عامل المليء. حيث يبين الشكل رقم (1) خصائص (J-V) في حالة الظلام للعينة S_2 المعابة نتيجة الاستعمال. ويلاحظ من هذا الشكل أن علاقة الفولتية مع كثافة التيار عند القيم الواطئة لفولتية الانحياز الأمامي هي علاقة خطية. ومن الشكل نفسه تم أيجاد كثافة تيار الإشباع العكسي الذي كانت قيمته بحدود ($J_o=1.65x10^{-6}A/cm^2$) والذي يمثل أمتداد الخط المستقيم عند الانحياز الأمامي الى (V=0) ، كذلك تم احتساب عامل المثالية n من ميل هذا المستقيم والذي كانت قيمته (n=1.57) للعينة S_2. ومن معرفة قيمة هذا العامل يمكن تحديد ميكانيكية مرور التيار الكهربائي خلال الخلية الشمسية حيث تتغير قيمة معامل المثالية مع مستوى التيار، حيث تتناقص قيمة n من (2) عند التيارات الواطئة الى قيمة (1) عند التيارات العالية، فاذا كانت قيمة عامل المثالية قريبة من اثنين يكون التيار ناتجا عن تيار التولد والاتحاد الناشئ في منطقة الاستنزاف اما اذا كانت قريبة من الواحد فان التيار الناتج عن تيار الانتشار يكون متأثرا بخواص منطقة التعادل في الخلية، ومن معرفة قيمة عامل المثالية قبل معاملة العينة باشعة الليزر وجد أن التيار المار خلال العينة هو تيار ناتج عن تيار التولد والاتحاد الناشئ في منطقة الاستنزاف، كذلك فان عملية اعادة الاتحاد في منطقة الاستنزاف تقلل من قيمة عامل المليء (F.F) اذا ما كانت قيمة معامل المثالية (n) اكبر من واحد [7,6] .



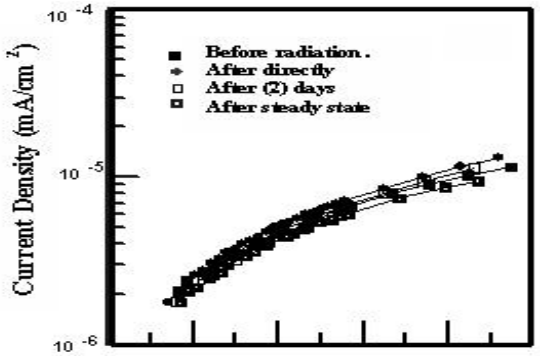
الشكل (1) يمثل خصائص (J-V) في حالة الظلام للعينة S_2 قبل المعاملة الحرارية

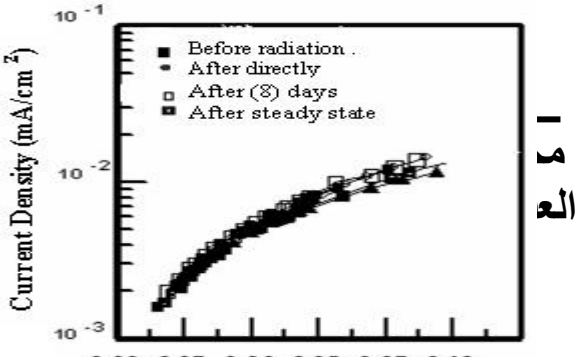
بعد ذلك تم استخدام اشعة ليزر(الهليوم– كادميوم) الذي تبلغ قطر حزمته (0.9mm) بكثافة قدرة مقدارها ($70\ mW/cm^2$) لمعالجة عينات الخلايا الشمسية المستعملة ولفترات زمنية مختلفة هي (2 ،6 ،10 ،18) مقاسة بالدقيقة للعينة S_2 حيث شععت مساحة الخلايا بصورة كاملة وجرى اعادة قياس الخواص الكهربائية (J-V) في الظلام الى ان نصل الى حالة الاستقرار. ومن خلال الاشكال (2) ,(3), (4) ,(5) ادناه يتضح لنا مدى تاثير هذه المعاملة الليزرية على هذه الخواص الكهربائية ولفترات زمنية مختلفة في حالة الظلام .

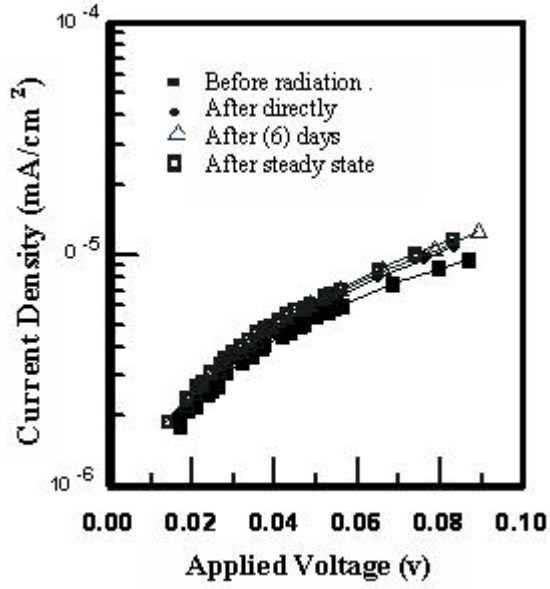
الجدول(1) ادناه يظهر لنا النتائج المحسوبة لقيم كل من (J_o , n) والذي يبين وجود تغير في هذه القيم لكنها تتجه نحو قيمتها الابتدائية. مما يدل على عدم حدوث تغيير يذكر في خصائص مفرق الخلية . ان التذبذب في قيمة تيار الظلام يمكن أن يعزى الى التغيرات الحاصلة داخل المنطقة المتعادلة من الخلية الشمسية والتي سببها فوتون الليزر الساقط والذي يؤثر على التركيب البلوري للخلية لذلك فان هذه التغيرات تكون في عدد مراكز إعادة الأتحاد والتولد وكذلك جريان الحاملات الأقلية بسبب عملية الانتشار [8,6] .

الجدول (1) يبين خصائص الخلايا الشمسية المعابة في (حالة الظلام) بعد المعاملة باشعة ليزر الهليوم – كادميوم ذو الطاقة الواطئة

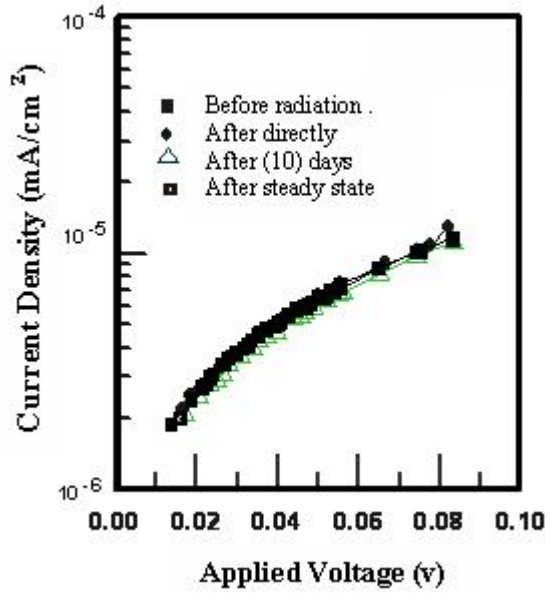
العينات	زمن المعاملة (min)	حالة العينة	قبل المعاملة	بعد المعاملة الليزرية	2 يوم	4 يوم	8 يوم	حالة الاسقرار
S_2	2	J_o	$1.6x10^{-6}$	$1.4x10^{-6}$	$1.4x10^{-6}$	$1.4x10^{-6}$	$1.5x10^{-6}$	$1.4x10^{-6}$
		n	1.57	1.38	1.47	1.53	1.54	1.41
S_2	6	J_o	$1.5x10^{-6}$	$1.3x10^{-6}$	$1.6x10^{-6}$	$1.3x10^{-6}$	$1.5x10^{-6}$	$1.3x10^{-6}$
		n	1.54	1.44	1.54	1.52	1.52	1.52
S_2	10	J_o	$1.3x10^{-6}$	$1.4x10^{-6}$	$1.4x10^{-6}$	$1.5x10^{-6}$	$1.6x10^{-6}$	$1.6x10^{-6}$
		n	1.52	1.49	1.49	1.54	1.58	1.5
S_2	14	J_o	$1.6x10^{-6}$	$1.7x10^{-6}$	$1.4x10^{-6}$	$1.6x10^{-6}$	$1.7x10^{-6}$	$1.6x10^{-6}$
		n	1.55	1.57	1.53	1.57	1.56	1.57
S_2	18	J_o	$1.6x10^{-6}$	$1.3x10^{-6}$	$1.6x10^{-6}$	$1.7x10^{-6}$	$1.4x10^{-6}$	$1.7x10^{-6}$
		n	1.57	1.42	1.57	1.6	1.47	1.6







الشكل (4) يمثل خصائص(J-V) في حالة الظلام للعينة S_2 بعد المعاملة الليزرية لمدة (10) دقائق

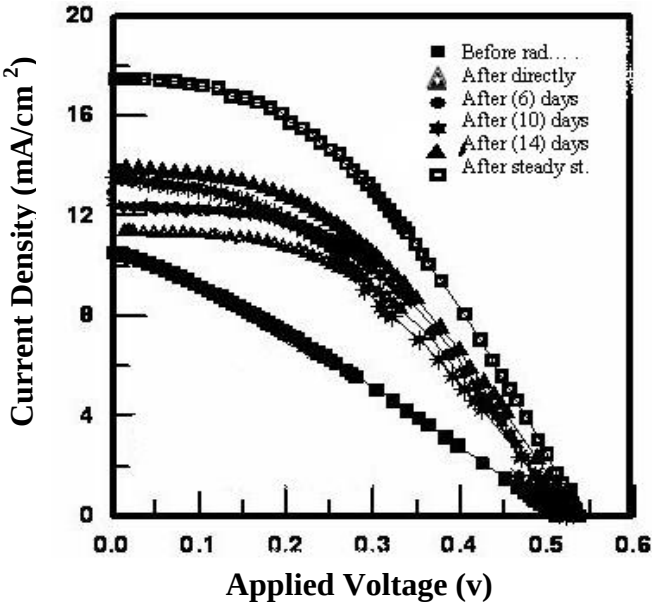


الشكل (5) يمثل خصائص(J-V) في حالة الظلام للعينة S_2 بعد المعاملة الليزرية لمدة(18) دقيقة

اما في حالة الاضاءة فقد جرى قياس الخصائص الكهربائية (J-V) الموضحة في الشكل رقم (6) والذي يمثل المنحني الاول منه أحدى عينات الخلية الشمسية S_2 المعابة بسبب الاستعمال قبل عملية المعاملة بليزر (الهليوم – كادميوم) ويمكن من هذا المنحني ان نحسب معلمات الخلية الشمسية في حالة الاضاءة اذ وجد أن مقدار كل من ($J_{sc}=9.8 \times 10^{-3} A/cm^2$ و $V_{oc}=0.6$ volt و F.F=0.41)، كذلك تم حساب اعلى قيمة للقدرة الخارجة وكانت (2.1 $P_{max} = \times 10^{-3}$ W/cm^2) ، وعند شدة أضاءة داخلة مقدارها ($P_{in}=600 W/m^2$) تم حساب الكفاءة للخلية الشمسية وكان مقدارها (4.3%)، من هذه النتائج يتضح لنا بان كفاءة هذه الخلية غير جيدة وتحتوي على عيوب نتيجة الأستعمال، اذ تشير المصادر العلمية الى ان القيمة الجيدة لكفاءة الخلايا الشمسية المصنعة تقع بين (29–28 %) عندما تكون الفجوة المحظورة

للطاقة بين (1.6–1.4 الكترون فولت)، حيث توجد عدة عوامل قد تقلل من كفاءة الخلية الشمسية منها تفاعل الضوء مع مادة الخلية وبعضها تتعلق بزيادة عمليات اعادة الاتحاد داخل مادة شبه الموصل وبعضها بتاثيرات المقاومة الذاتية للخلية او سمك الخلية او الاجهاد نتيجة التغيرات الحرارية، واذا ما كان مقدار فجوة الطاقة لمادة السليكون هو تقريبا (1.1 eV) وهو ضمن المدى المقبول لذلك فان قيمة الكفاءة المحسوبة للخلية الشمسية المستعملة عند الاضاءة تكون سيئة [8,6].

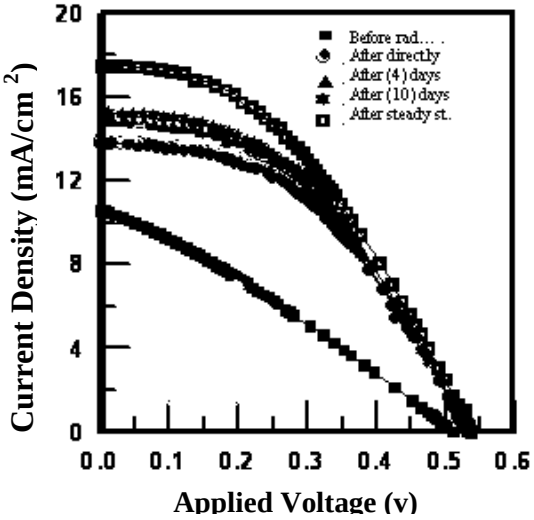
كذلك فان المنحني الثاني من الشكل رقم (6) يوضح ايضا الخصائص الكهربائية (J-V) بعد معاملة العينة S_2 باشعة ليزر (الهليوم– كادميوم) ولمدة زمنية مقدارها (4) دقائق حيث كان هناك تغيير في خصائص الاخراج كما مبين في هذا المنحني والذي كان بعد المعاملة باشعة الليزر مباشرة ، بينما المنحنيات المتبقية فقد تم تثبيت معلماتها بعد مدد زمنية مختلفة من أيقاف المعاملة الى حين الوصول الى حالة الاستقرار.



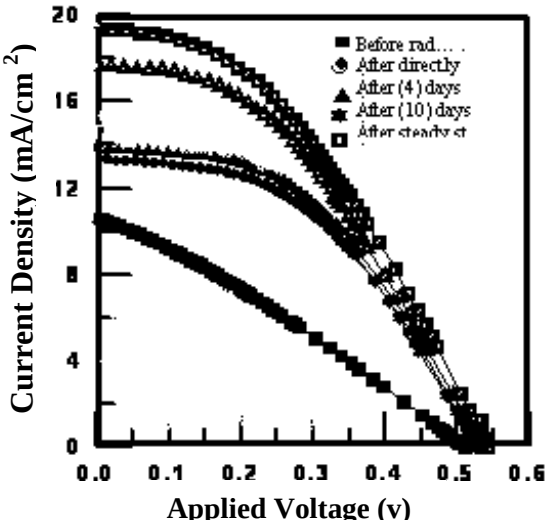
الشكل(6) يمثل خصائص الاخراج (J-V) للعينة S_2 بعد المعاملة الليزرية لمدة (4) دقائق

حيث يظهر من الشكل أن المعاملة باشعة الليزر وبفترات زمنية مختلفة قد ادت الى تحسين اداء الخلية الشمسية المستعملة من خلال التحسن في خصائص (التيار–الفولتية) وبالتالي عامل الملئ (F.F) اذ تتراوح قيمة عامل المليء بالنسبة للخلايا ذات الكفاءة المقبولة بين (0.7–0.85) و قيمته بالنسبة الى الخلايا المثالية هي دالة لفولتية الدائرة المفتوحة فقط [6]. ومن خلال اجراء القياسات على المعلمات الاساسية لتقويم عمل الخلية عند حالة الاستقرار في المنحني

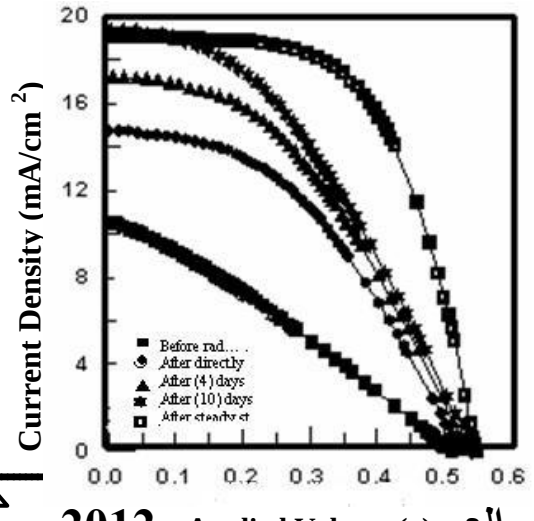
(6)وجد ان قيم كل من (V_{oc}= 0.66 volt و J_{sc}=15.8.5x10^{-3}A/cm^2 و F.F=0.68) وهذا يعطي قدرة عظمى مقدارها(P_{max}=7.2 x 10^{-3} W/cm^2) ، وعند شدة أضاءة داخلة نفسها هي (600 W/m^2) بلغ مقدار الكفاءة المقاسة للخلية الشمسية هي (9.3%) وبمقارنة هذه النتائج مع نتائج ما قبل المعاملة الليزرية نجد أن هناك تحسن واضح في كفاءة الخلية الشمسية نتيجة للمعاملة باشعة الليزر الذي يمكن ان يعزى الى اعادة توزيع الشوائب في العينات وفي التلدين السطحي للطبقات الرقيقة الذي كانت نتيجته زيادة في عملية التبلور (crystal growth) للعينات [9] . كذلك فان المعاملة استمرت لفترات زمنية مختلفة وتم ملاحظة ان الزيادة في مقدار زمن المعاملة الليزرية الى (18,14,10,6) دقيقة قد احدث تحسنا أكبر في كفاءة الخلية كما مبين في الاشكال (7) ، (8) ، (9) ، (10) . حيث وصلت الكفاءة عند زمن معالجة مقداره (14) دقيقة الى (10.6%) عند شدة الاضاءة نفسها .



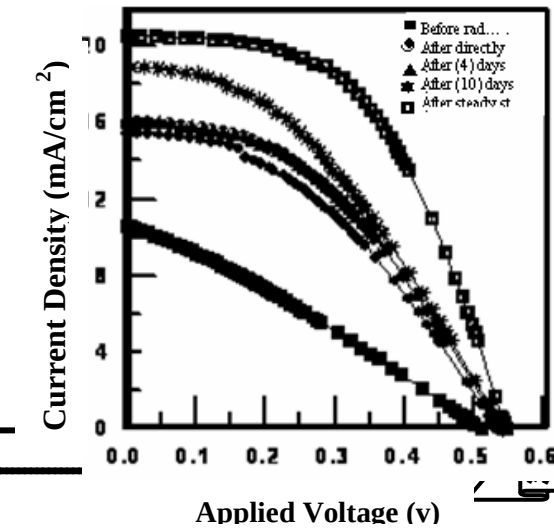
الشكل(7) يمثل خصائص الاخراج (J-V) للعينة S_2 بعد المعاملة الليزرية لمدة (6) دقائق



الشكل(8) يمثل خصائص الاخراج (J-V) للعينة S_2 بعد المعاملة الليزرية لمدة (10) دقائق

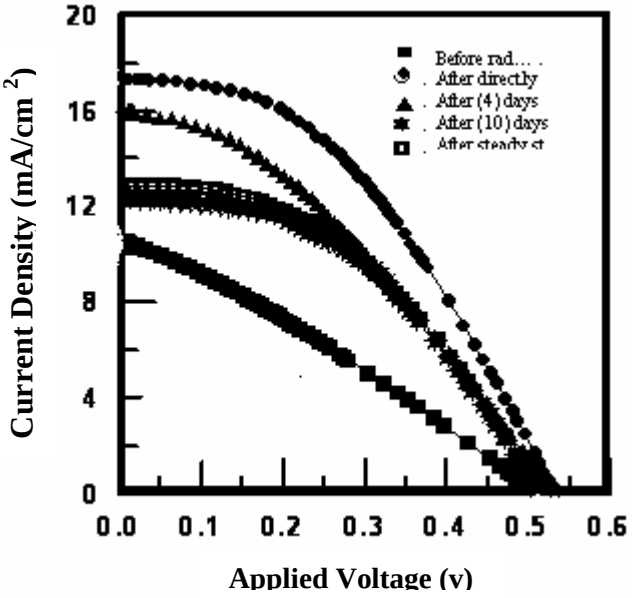


الشكل(9) يمثل خصائص الاخراج (J-V) للعينة S_2 بعد المعاملة الليزرية لمدة (14) دقائق



الشكل(10) يمثل خصائص الاخراج (J-V) للعينة S_2 بعد المعاملة الليزرية لمدة (18) دقائق

الا انه لوحظ عند الاستمرار في زيادة مدة المعاملة الليزرية الى (26) دقيقة او اكثر قد احدث أنخفاض في منحني خصائص الاخراج كما مبين في الشكل (11) والذي يدل على تردي خصائص الخلية الشمسية نتيجة لزيادة المدة الزمنية للمعالجة باشعة الليزر وهذا يعني ان هناك فترة زمنية مثالية يمكن من خلالها زيادة كفاءة الخلايا الشمسية المعالجة باشعة الليزر، وهذا يشير الى ان معالجة المواد بواسطة اشعة الليزر يعتمد على مقدار الطاقة التي توفرها حزمة اشعة الليزر ، اذا ما علمنا من خلال المصادر العلمية بان من خلال النتائج التجريبية اثبت بان فولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} تقل بحدود (0.4 %) لكل درجة مئوية [6]، وبالنتيجة فان عامل الملي (F.F) يتناقص ايضا مما يؤدي الى نقصان القدرة الخارجة والكفاءة المستحصلة من الخلية الشمسية، كذلك فان مقدار القدرة الخارجة للخلايا الشمسية المصنوعة من السليكون تحديدا تقل بمقدار (0.4–0.5 %) لكل درجة مئوية، وهو يختلف عن باقي انواع اشباه الموصلات ذات الفجوات المحظورة الكبيرة [8,6] .



الشكل(11) يمثل خصائص الاخراج (J-V) للعينة S_2 بعد المعاملة الليزرية لمدة (26) دقيقة

4- الاستنتاجات

1. امكانية تحسين كفاءة الخلايا الشمسية السليكونية المعابة نتيجة الاستعمال بأستخدام اشعة ليزر (الهليوم – كادميوم) ذو الطاقة الواطئة [LPLA] (10m W) والطول الموجي (441.6nm) حيث كانت قيمة الكفاءة قبل المعالجة (4.3%) أما بعد معالجتها باشعة الليزر أزدادت لتصل قيمتها الى (10.6%) علما بأن كفاءة الخلية غير المستعملة هي 12 % حسب مواصفات الشركة المصنعة (Itiar solar)

2. ان معالجة الخلية الشمسية باستخدام اشعة الليزر ذات الطول الموجي المرئي يعتمد على مقدار طاقة اشعة الليزر التي تنفذ الى عمق محدد من سطح الخلية وبالتالي مدى تاثيرها على التركيب البلوري للخلية والتي من شانها معالجة الكثير من العيوب البلورية الناتجة عن الاستخدام او التصنيع والتي تاثر على معامل الامتصاصية والنفاذية وكذلك المقاومة الكهربائية للخلية الشمسية وعادة ما تكون هناك طاقة مثالية لاشعة الليزرية تكون ضمن المدى المثالي لتحسين كفاءة الخلية الشمسية.

3 . يجب ان يكون هناك مدة زمنية محددة لمعالجة الخلايا الشمسية بواسطة الاشعة الليزية فاذا ما تم تجاوز هذه المدة الزمنية فان النتيجة تكون عكسية نتيجة لحدوث نقص في قيمة فولتية الدائرة المفتوحة V_{oc} وعامل الملي (F.F) وبالتالي انخفاض القدرة الخارجة والكفاءة المستحصلة من الخلية الشمسية.

4. من الممكن استخدام جهاز مقياس الطيف الضوئي (**spectrophotometer**) لمعرفة معامل النفوذية من الطيف ومنه يمكن تحديد معامل الامتصاص وحساب طاقة المجال المباشر **Eg** وغير المباشر **Egi** حسب علاقتي(**Pankov)** لدراسة هذه الطاقات للطبقة الماصة للاشعة وبيان تاثير استخدام اشعة الليزر على الخلية الشمسية.

“ References “

1. International Scientific Journal published monthly by the World Academy of Materials and Manufacturing Engineering , Archives of Materials Science and Engineering “ Development of the laser method of multicrystalline silicon surface texturization “ Volume 38, Issue 1, P (5-11), July 2009 .
2. A.Hariri “ Indications Towards the Improvement of the Cds-CuXS Thin film Solar cells “. Aleppo University Journal .No,21.P(150-160) ,1996.

3. زكريا ظلام ، خالد عقيل ، ناصر سعد الدين " تاثير التلدين بواسطة الليزر النبضي – Nd YAG على Eg لافلام رقيقة نصف ناقلة من $CuInSe_2$ " ، جامعة دمشق – سوريا، عام 2008.

4. د. خالد عبد الحميد الخطيب ، د. وليد خلف حمودي " ضوئيات الكم والليزر " وزارة التعليم العالي والبحث العلمي ، الجامعة التكنولوجية ، ص 250– 280 ، 1989م .

5. S.M.S Ze , " Semiconductor Device – Physics and Technology " , John Wiley and Sons, 1985.

6. مارتن أ. كرين ، ترجمة الدكتور يوسف مولود حسن "الخلايا الشمسية مباديء العمل، التقنية وتطبيقات المنظومة " ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي – جامعة الموصل ، ص 101–131 ، 1989م.

7. H.J.Hovel "Semiconductor and Semimetals Solar Cell "vol.11, Academic press (1975).

8. S. M. Sze, "Physics of Semiconductor Devices ",John Wiley , Sons (2007)

9. Ahj Al-Mousawy, "Effect of laser annealing on defected silicon solar cells" , Journal of Physics , Conference Series 241 , (2010) .