

تأثير سمك اغشية اوكسيد الانديوم على الاستجابة

الطيفية للخلايا الشمسية السلكونية

د.سارية ذياب محمد

م. اقبال عبد المجيد

قسم العلوم التطبيقية /الفيزياء التطبيقية

لبنى رشيد مجيد

دائرة العقاري

الخلاصة:

يتناول هذا البحث تأثير اغشية In_2O_3 المرسب على سطح الخلايا الشمسية السلكونية مفرق p-n كطلاء مضاد للانعكاس على كفاءة الخلية الشمسية السلكونية وعلى الخواص الكشفية، تم تحضير غشاء الانديوم بطريقة التبخير الحراري ثم اكسدته بتقنية الاكسدة الحرارية السريعة RTO ، وباسماك مختلفة (106-200-350-500 nm)، ضمن درجات حرارة اكسدة مختلفة تتراوح ($350-400-450C^\circ$) .

تبين من قياسات تيار الدائرة القصيرة - وفولتية الدائرة المفتوحة تحسن ملحوظ في كفاءة التحويل للخلية الشمسية بعد طلائها بغشاء In_2O_3 اذ كانت (3.95%) قبل الطلاء واصبحت (10.95%) عند ترسيب غشاء لسمك 500 nm ودرجة حرارة الاكسدة $450C^\circ$.

وقد تم خلال البحث دراسة الخواص الكشفية اذ كانت قمة الاستجابة الطيفية عند الطول الموجي 800nm هي (0.126A/W) قبل الطلاء وقد تحسنت بعد الطلاء واصبحت (0.45A/W) عند نفس الطول الموجي اما الكفاءة الكمية فكانت (1.95%) قبل الطلاء واصبحت (7%) بعد الطلاء للسمك 500nm ودرجة حرارة اكسدة $450C^\circ$.

الجانب النظري

يعتبر أوكسيد الأندريوم مادة شبة موصلة ،فهو أوكسيد موصل شفاف (TCO) ذو فجوة طاقة مباشرة 3.6eV وفجوة طاقة غير مباشرة 2.5 eV، ويكون على شكل بودر اصفر اللون وبالامكان تحضيره على شكل غشاء من خلال تبخير مادة الانديوم على القواعد الزجاجية والسليكونية في غرفة مفرغة من الهواء ثم اكسدة الغشاء باحدى طرق الاكسدة ومن ضمنها طريقة الاكسدة الحرارية السريعة RTO في الظروف الجوية الاعتيادية [1] ، وبشكل عام فان غشاء أوكسيد الانديوم هو stoic metric اما في حالة وجود ذرات انديوم اضافية او فجوات اوكسجين فتجعله مانح (n-type donors) . يستخدم غشاء In_2O_3 كطبقة نافذة Window Layer مضادة للانعكاس على سطوح الخلايا الشمسية ، فهو غشاء منتظم وشفاف "حوالي 80% في المنطقة المرئية (0.4-0.9 μm) ، ذو انعكاسية عالية في منطقة IR ولهذا يستخدم كنافذ عاكسة للحرارة [2-3] .

يمتاز غشاء In_2O_3 المحضر بتقنية الأكسدة الحرارية السريعة RTO بانه غشاء ناعم وله خصائص لاصقة جيدة [3] فهو غشاء متعدد البلورات (polycrystalline) ذو تركيب cubic bixbyite باتجاهية مفضلة (222) ويمتلك هذا الغشاء ثابت الشبكة $10.117A^\circ$ حسب المعيار الأمريكي " ASTM [3] ، تعتمد ظروف الانماء (طريقة تحضير غشاء In_2O_3 ، درجة حرارة اكسدة الغشاء ، سمك الغشاء) على الخصائص التركيبية وبالتالي على الخصائص الكهربائية والبصرية للغشاء ، حيث تتحسن التراكيب البلورية ويزداد الحجم الحبيبي (grain boundary) بزيادة السمك لغشاء أوكسيد الانديوم .

الجانب العملي :

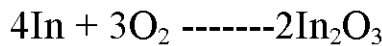
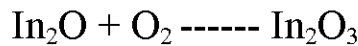
المقدمة

يتضمن هذا الجانب تحضير أغشية رقيقة لاوكسيد الأندريوم (In_2O_3) وبأسماك مختلفة بترسيب مادة (indium) بطريقة التبخير الحراري في الفراغ في درجة حرارة الغرفة وباخضاع العينة لعملية الأكسدة الحرارية السريعة (Rapid Thermal Oxidation) وتهيئة نماذج لخلايا شمسية من نوع (p-n junction) سليكونية وطلائها بغشاء رقيق من In_2O_3 واستعمال (In_2O_3) كطلاء مضاد لانعكاس الخلية الشمسية وأجراء القياسات الاستجابية لخصائص الخلية الشمسية قبل وبعد الطلاء .

تحضير الغشاء

تم تحضير أغشية اوكسيد الانديوم الرقيقة (In_2O_3) بترسيب اغشية (indium) على الزجاج وللاصمك (106-200-350-500nm). بالتبخير الحراري في الفراغ في درجة حرارة الغرفة وذلك لاجراء قياسات السمك ، اذ استعملت منظومة الترسيب (Edward) المجهزة من شركة (Edward) للتبخير الحراري تحت ضغط (10^{-5} torr) ثم اجريت عمليات الأكسدة الحرارية السريعة (Rapid Thermal Oxidation) للأغشية على الزجاج .

تتألف منظومة الأكسدة الحرارية السريعة وكما موضح بالشكل (1) من جزئين رئيسيين الأول يمثل مصدر التسخين الذي هو عبارة عن مصباح هالوجين تنكستن مفرد نوع (GERMAMY64675) ذي قدره 1000W مثبت على مسند موضوع على قاعدة سيراميكية، ويوضع خلف المصباح عاكس من الألمنيوم على شكل قطع مكافئ لزيادة كفاءة التسخين أما الجزء الآخر من المنظومة هو عبارة عن أنبوب من الكوارتز بقطر (4cm) مفتوح من الجهتين للسماح بدخول الهواء تحت الضغط الجوي . استخدام مزدوج حراري Thermocouple نوع K-type لغرض قياس درجة حرارة العينة. حيث تم وضع العينات في داخل أنبوب الكوارتز فوق المصباح مباشرة بحيث يكون موقع المصباح ثابت وعلى مسافة 0.9cm من الأنبوبة وجرت العملية بدرجات حرارة مختلفة بحدود $350C^{\circ}$ ، $400C^{\circ}$ ، $450C^{\circ}$ وعند أزمان أكسدة مختلفة لغرض الحصول على أفضل غشاء يمكن حدوث التفاعلات الكيميائية أثناء أكسدة الانديوم بوجود الأوكسجين الجاف النقي " Dried Oxygen " وكالاتي[4].



باستخدام الطريقة الوزنية ومن خلال العلاقة التالية: In_2O_3 تم قياس سمك اغشية

.....(1)

$$t = \frac{\Delta m}{P \cdot A}$$

حيث أن : t : سمك الغشاء (nm) . ΔM : فرق وزن القاعدة (وزن القاعدة بعد الترسيب - وزنها قبل الترسيب)

P: كثافة الغشاء المرسيب (g/cm^3). A: مساحة الغشاء. وقد استخدمت ايضا الطريقة البصرية لقياس سمك الاغشية باستخدام الليزر هليوم نيون وحسب العلاقة التالية :

$$t = \frac{\Delta L}{L} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \dots\dots (2)$$

حيث أن : L: المسافة بين الأهداب ، L: مقدار الإزاحة في الأهداب ، λ : الطول الموجي لشعاع الليزر المستعمل.

تهيئة نماذج الخلايا الشمسية

لدراسة تأثير غشاء اوكسيد الانديوم (In_2O_3) كطلاء مضاد للانعكاس على الخلايا الشمسية، استخدمت خلايا شمسية نوع (p-n Junction) المصنعة في شركة المنصور العامة ثم قطعت إلى قطع صغيرة بمساحات منتظمة مقدارها (1.1cm^2) اذ تم ترك 1mm لكل الحافات لكي لا يحصل اتصال مع الطبقة السفلى بعد الطلاء. اذ تُنظف القواعد للخلايا السلكونية في الماء المقطر تنظيفاً جيداً ثم وتوضع في محلول حامض الهيدروفلوريك (HF) المخفف بنسبة (1:10) بالماء المقطر مدة خمس دقائق لضمان إزالة طبقة الاوكسيد المتولدة نتيجة الظروف الجوية وبعدها تغسل بالماء المقطر وتوضع في جهاز الموجات فوق الصوتية لضمان التنظيف الجيد ثم تجفف في فرن مدة 15 دقيقة وبعد ذلك تكون جاهزة للترسيب . تم ترسيب اغشية الانديوم بطريقة الترسيب الحراري تحت الفراغ على قواعد من الخلايا الشمسية السليكونية غير مطلية سابقاً بمادة مضادة للانعكاس وللأسماك (-106-200-350) (500nm). ثم اجريت عمليات الأكسدة الحرارية السريعة (Rapid Thermal Oxidation) للاغشية على الخلايا الشمسية بدرجات حرارة مختلفة بحدود 350C° ، 400C° ، 450C° وكما ذكر في اعلاه.

قياس خصائص الخلايا الشمسية قبل الطلاء وبعده :

أما دراسة الخصائص الكهربائية والفولتائية للخلايا الشمسية فقد تم باعتماد الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (2) والتي تتألف من الأجهزة الآتية :

1. صندوق مقاومات ($1-8000\Omega$) نوع (SARGENT - WELCH) USA .

2. مجهز قدرة من نوع 6291A D.C .

3. اميتر نوع (حمورابي) .

4. فولتميتر صيني من نوع DT830B .

5. مصباح هالوجين بقدرة (120W) يعطي كثافة إشعاعية من خلال مجزء فولتية ويوضع المصباح على ارتفاع (15cm) من العينة للحصول على كثافة إشعاع تعادل (AMI) اذ يتم قياس كثافة القدرة التي تعطىها كل فولتية باستعمال مقياس قدرة (Power Meter) .

يمكن إيجاد كفاءة التحويل للخلايا الشمسية بتطبيق المعادلات الآتية: [5]

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \times 100 \% = \frac{I_m V_m}{P_{in}} \times 100 \% \quad \dots\dots (3)$$

إن قدرة الأشعة الشمسية الساقطة P_{in} وتساوي 92.5 mW/cm^2 وتكون عمودية على

سطح الأرض في وقت الظهيرة والتي تسمى (Air Mass One (AM1)

وتم حساب عامل الملاء Filling Factor للخلايا الشمسية بتطبيق المعادلات الآتية: [5]

$$F.F = \frac{J_m V_m}{J_{sc} V_{oc}} \quad \dots\dots (4)$$

حيث أن J_m : أعلى قيمة لكثافة التيار، V_m : أعلى قيمة للفولتية، J_{sc} : كثافة تيار الدائرة القصيرة، V_{oc} : فولتية الدائرة المفتوحة.

قياسات الاستجابة

تعرف الإستجابة الطيفية للخلية الشمسية بأنها الدائرة القصيرة الناتجة لوحدة الفيض الضوئي الساقط من ضوء أحادي اللون كدالة للطول الموجي ويمكن الحصول من قياس الإستجابة الطيفية على المعلومات التي تحدد العناصر التصميمية للخلية الشمسية [5] . ويمكن التعبير عن الاستجابة الطيفية $R(\lambda)$ كما يأتي [6] .

$$R(\lambda) = I_{ph} / P_{in(\lambda)} \quad \dots\dots(5)$$

حيث أن :

$R(\lambda)$: الاستجابة الطيفية (A / W).

I_{ph}: التيار المتولد نتيجة الفيض الضوئي الأحادي الموجي الساقط.

Pin: كثافة القدرة الضوئية الساقطة mW / cm² .

أو يمكن أن تأخذ صيغة أخرى باستخدام كثافة تيار الدائرة القصيرة J_{sc} وكما يأتي : [6]

$$R_{(\lambda)} = J_{sc} / P_{in} \quad \dots\dots(6)$$

إن قيمة الاستجابة الطيفية تحدد المنطقة الطيفية المثلى لعمل الكاشف وتعد من أهم معالم الكاشف إذ أنها تحدد مدى كفاءة الكاشف في الكشف عن ضوء بطول موجي معين . من أجل معرفة المنطقة التي يستجيب لها اتصال p-n ومعرفة قيمة الاستجابة الطيفية (Spectral Response Peak) قبل الطلاء وبعده لدراسة تأثير الطلاء في هذا الاتصال استعمل جهاز (monochromater) يعمل في المدى الطيفي (400-1200 nm) لحساب الخواص الكشفية والذي يتكون أساساً من مصباح هالوجين ومحزز (Grating) حيود يقوم بتحليل الضوء القادم من المصباح ومن ثم عدسات تعمل على تجميع الضوء القادم من محزز الحيود . يتم أولاً قياس كثافة القدرة الساقطة (P_{in}) لكل طول موجي للضوء الساقط المعايير باستعمال مقياس القدرة (power meter) وكاشف يتم ربطه مع مقياس القدرة بعد ذلك يتم قياس الإشارة التي يعطيها الكاشف (I_{sc}) لكل طول موجي للضوء الساقط على الكاشف باستعمال مقياس التيار (st-83ob) إذ يتم إيجاد الاستجابة الطيفية R_(λ) بتطبيق العلاقة الآتية [6] :

$$R_{(\lambda)} = \frac{J_{sc(\lambda)}}{P_{in(\lambda)}} A/w \quad \dots\dots (7)$$

$$\left[J = \frac{I_{sc}}{A} \right] \quad \text{حيث ان :}$$

J_{sc} : هو كثافة تيار الدائرة القصيرة وتساوي تيار الدائرة القصيرة

مقسوماً على مساحة الكاشف A. Pin (λ) هي كثافة القدرة الساقطة بعد معايرتها لكل طول موجي .

الكفاءة الكمية Quantum Efficiency : لاتصال (p-n) :

بالاعتماد على قيم الاستجابة $R(\lambda)$ لكل طول موجي يتم حساب الكفاءة الكمية (QE) لكل طول قبل الطلاء وبعده على وفق المعادلة الآتية : [6]

$$Q_{E(\lambda)} = 1.24 \frac{R(\lambda)}{\lambda} \dots (8)$$

النتائج والمناقشة:

تم حساب كفاءة الخلية الشمسية السليكونية لمفرق نوع (p-n) قبل وبعد طلائها بغشاء (In₂O₃) ولسمك (500nm) عند درجات حرارة (350-400-450C°) فضلا عن عامل الملاء (F.F) من خلال حساب كل من كثافة التيار للدائرة القصيرة وفولتية الدائرة المفتوحة بتطبيق العلاقتين (3) و (4) على الترتيب وكما موضح في الجداول (1) اذ نلاحظ تزايد الكفاءة الخلية الشمسية من (3.95%) الى (6.85%) بعد الطلاء بغشاء اوكسيد الانديوم للسمك (500nm) عند الاكسدة لدرجة حرارة (350C°)، و تزايد الكفاءة الخلية الشمسية من (3.95%) الى (10.95%) بزيادة درجات حرارة اللاكسدة لغشاء اوكسيد الانديوم من (350-450C°).

كذلك نلاحظ من خلال الجداول (1) تزايد طفيف لعامل الملاء F.F من (0.41-0.42) بعد الطلاء بغشاء اوكسيد الانديوم للسمك 500nm عند الاكسدة لدرجة حرارة (350C°)، و تزايد لعامل الملاء F.F من (0.42-0.49) عامل الملاء من (-0.49) عند تغير درجة حرارة الأكسدة من (350-450C°).

تبين أن ترسيب اغشية (In₂O₃) على سطوح الخلايا الشمسية السليكونية تعمل كطلاء مضاد للانعكاس مؤديا الى تحسين كثافة التيار للدائرة القصيرة Jsc وفولتية الدائرة المفتوحة Voc ، وكذلك نجد أن كفاءة التحويل %η وعامل الملاء F.F تزداد بشكل ملحوظ بتأثير غشاء اوكسيد الانديوم و لسمك (500 nm) و بزيادة درجة حرارة اللاكسدة من (350-450C°) ، وهذا يعزى إلى عدة مؤثرات منها يتعلق بتفاعل الضوء مع سطوح الخلايا الشمسية، حيث تمتاز أشباه الموصلات مثل السليكون بالانعكاسية العالية للضوء وتمكن التقليل من انعكاسية الضوء الساقط إلى أقل حد ممكن من خلال استخدام الطلاء المضاد للانعكاس على شكل غشاء رقيق لاوكسيد الانديوم، والذي يعد من أهم الأساسيات في تطوير كفاءة الخلية الشمسية.

وبالامكان تفسير هذه الزيادة في قيمة الكفاءة عند السمك (500 nm) وعند درجة حرارة اكسدة لغشاء اوكسيد الانديوم $450C^{\circ}$ ، ذلك ان الاسماك العالية لاغشية المواد TCO وعند الدرجات الحرارية العالية تؤدي الى تحسين الخصائص التركيبية لغشاء (In_2O_3) وتغير الحجم الحبيبي وشكل الحبيبات ،وتقلل العيوب البلورية للاغشية،وتزيد من التصاقية الغشاء على سطوح الخلايا الشمسية عند المستوي(100) الاحادي البلورات. تحسن الخصائص التركيبية لغشاء (In_2O_3) تؤدي الى زيادة النفاذية البصرية للامواج الضوئية في المنطقة المرئية وانخفاض الانعكاسية من على السطوح السليكونية للخلايا الشمسية ،وبالتالي تؤثر على زيادة التوصيلية الكهربائية وزيادة التحرك للالكترونات وانخفاض حاملات الشحنة،وبذلك تزداد كثافة التيار وتحسن الكفاءة للخلايا الشمسية وكما اشار الى ذلك العديد من الباحثين [7 , 8].

الاستجابة الطيفية

تم حساب قيم الاستجابة الطيفية بتطبيق العلاقة (6) وتوضح الجداول (2),(3),(4),(5) تأثير سمك الغشاء وبحدود (106-200-350-500nm) وبدرجة حرارة لكل سمك تتراوح بين (350-400-450Co) على زيادة الاستجابة الطيفية .

يتبين من الجداول ان قيمة الاستجابة الطيفية ($0.126 A/W$) عند الطول الموجي (790nm) قبل الطلاء وتزداد بعد عملية الطلاء باغشية اوكسيد الانديوم وإجراء عملية الأكسدة عليها لتصل إلى أعلى قيمة لها ($0.45A/W$) عند السمك (500nm) ودرجة حرارة أكسدة ($450Co$) وعند الطول الموجي (800nm) اذ تؤثر تلك الاسماك العالية على تحسين الخصائص التركيبية للغشاء وتزيد من النفاذية للأطوال الموجية المرئية وتحسن من الخصائص الكهربائية وكما اشار الى ذلك الباحثين في [9].

ونلاحظ انخفاض بصورة منتظمة بالاستجابة الطيفية عند الأطوال الموجية الطويلة لانخفاض معامل الامتصاص (Absorption Coefficient) للسليكون لتلك الأطوال الموجية إلى حدود ($\alpha = 10^2 \text{ cm}^{-1}$) أما عند الأطوال الموجية القصيرة فتمتاز بامتصاص عال من قبل السليكون بسبب معامل الامتصاص العالي للسليكون ($\alpha = 10^4 \text{ cm}^{-1}$) والذي يجعل هذه الأطوال الموجية تمتص قرب سطح السليكون مما يجعل هذه المنطقة تمتاز بكثرة عمليات إعادة الإتحاد للحاملات المتولدة ضوئياً والتي تمنع جزءاً كبيراً من الحاملات المثيجة ضوئياً من الوصول إلى منطقة الاستنزاف [9,10] .

الأشكال البيانية (3)، (4)، (5)، (6) تمثل الاستجابة الطيفية لخلية شمسية سليكونية نوع مفرق-p n قبل الطلاء بغشاء (In_2O_3) وبعد الطلاء ولأسمك (106-200-350-500nm) وعند درجات حرارة أكسدة بحدود ($350-400-450 C^\circ$).

حيث نلاحظ أن الاستجابة الطيفية تقع ضمن المنطقة المرئية (600-800nm) وقليلًا من المنطقة القريبة من تحت الحمراء (near IR) أما قمة الاستجابة الطيفية فتتحدد في مدى الأطوال الموجية للأشعة الساقطة (780-820nm) إذ تزداد الاستجابة الطيفية بزيادة الطول الموجي وعند الأطوال الموجية القصيرة (الطاقات العالية) وهذا يتفق مع عمل الباحث [9] ونلاحظ من خلال الأشكال اعلاه زيادة في الاستجابة الطيفية وعند الامواج المرئية القصيرة (الطاقات العالية) وبشكل غير منتظم ويعزى ذلك الى سرعة تولد ازواج (الكترن - فجوة). وان اعلى استجابية نحصل عليها ($0.45 A/W$) عند الطول الموجي 800nm بعد طلاء الخلايا الشمسية السليكونية باغشية (In_2O_3) ولسمك (500nm) واكسدة حرارية ($450C^\circ$) نلاحظ ايضا خلال الاشكال البيانية للاستجابية انخفاض بصورة منتظمة لقيم الاستجابية عند الاطوال الموجية الطويلة (الطاقات الواطئة) [9] ، وهذا يعزى إلى عدة مؤثرات منها يتعلق بتفاعل الضوء مع سطوح الخلايا الشمسية، حيث تمتاز أشباه الموصلات مثل السليكون بالانعكاسية العالية للضوء وتمكن التقليل من انعكاسية الضوء الساقط إلى أقل حد ممكن من خلال استخدام الطلاء المضاد للانعكاس على شكل غشاء رقيق لاوكسيد الانديوم، والذي يعد من أهم الأساسيات في تطوير كفاءة الخلية الشمسية.

الكفاءة الكمية (QE) :

تم إيجاد الكفاءة الكمية (QE) بتطبيق العلاقة (6) اعتمادا على قيم الاستجابة الطيفية لكل طول موجي و الجدول (6) تمثل الكفاءة الكمية لخلية شمسية سليكونية نوع مفرق (p-n) قبل الطلاء وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 ولسمك (500nm) وبدرجة حرارة أكسدة مختلفة (350- $400-450C^\circ$). نلاحظ أن الكفاءة الكمية التي تم الحصول عليها قبل الطلاء هي (1.95%) وتتحسن قيمة الكفاءة الكمية بعد الطلاء لغشاء اوكسيد الانديوم للسمك 500nm وإجراء عملية الأكسدة عليها عند درجة حرارة $450C^\circ$ لتصل (7%)، إذ تؤثر تلك الاغشية ذات الاسماك العالية على تحسين الخصائص التركيبية للغشاء وتزيد من النفاذية للأطوال الموجية المرئية وتحسن من الخصائص الكهربائية وكما اشرنا اليها و كما اشار اليه البحث [10].

References

- [1] Dalal F . Yoosif "Fabrication and Characterization of In₂O₃/si solar cells by Means of Rapid Thermal Oxidation " ,to the school of Applied Sciences as a partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Laser physics ,October (2005).
- [2] F . ADURODIJA , H. IZUMI , T.ISHIHARA , H. YOSHIOKA , H. MATSUI AND M. MOTOYAMA , APPL . Phys . Lett ., 74 (20) (1999) 3059 .
- [3] "AZO Journal of materials on line " Azom Tm .com pty . Ltd copy right © 2000 – 2008.
- [4] S.Naseem ,I .Rauf ,K . Husain and N . Malik , Thin Solid Films , 156 (1988) 161 .
- [5] M.A.Green," Solar Cells " Translated by Y.M Hassan ,University of Al- Mosul (1989) .
- [6] W. Budde , " Physical Detectors of Optical Radiation Measurements " , vol . 4, Academic press New York and Landon (1983) .
- [7] M.A. Maki-Jaskari, T.T. Rantala, Phys. Rev. B 6407(2001).
- [8] Roy G. Gordon, Feng Chen, Nicholas J. DiCeglie, Jr., Amos Kenigsberg, Xinye Liu, Daniel Teff and John Thornton, Materials Res. Soc. Proc. 495, 63(1998); Roy G. Gordon, US Patent 6,258,157 (2001).
- [9] R. Ismail and O. Sultan, Iraqi J. of Appl. Phys., 1 (1) 1(2005) 1.
- [10] R. Ismail, K. Yahya and O. Abdulrazaq, Surface Review and Letters, 12 (2) 299(2005).

الجدول (1) يمثل تأثير سمك (500nm) في كفاءة الخلية الشمسية السليكونية ودرجات حرارة أكسدة مختلفة .

درجة حرارة الأكسدة	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (v)	J_m (mA/cm ²)	V_m (v)	F.F	$\eta\%$
قبل الطلاء	21.7	0.43	13.6	0.29	0.41	3.95
درجة حرارة أكسدة 350C°	37.1	0.43	25.1	0.27	0.42	6.85
درجة حرارة أكسدة 400C°	43.09	0.44	31.77	0.28	0.46	8.89
درجة حرارة أكسدة 450C°	49.1	0.44	33.2	0.33	0.49	10.95

الجدول (3) يوضح قيم الاستجابة الطيفية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 ولسمك (200nm) ودرجة حرارة أكسدة مختلفة .

الجدول (2) يوضح قيم الاستجابة الطيفية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 ولسمك (106nm) ودرجة حرارة أكسدة مختلفة .

درجة حرارة الأكسدة	الاستجابة الطيفية $R_{(a)}$ (A/W)
بدون طلاء	0.126
درجة حرارة أكسدة 350C°	0.18
درجة حرارة أكسدة 400C°	0.26
درجة حرارة أكسدة 450C°	0.29

درجة حرارة الأكسدة	الاستجابة الطيفية $R_{(a)}$ (A/W)
بدون طلاء	0.126
درجة حرارة أكسدة 350 C°	0.17
درجة حرارة أكسدة 400 C°	0.21
درجة حرارة أكسدة 450 C°	0.25

الجدول (5) يوضح قيم الاستجابة الطيفية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 ولسمك (500nm) ودرجة حرارة أكسدة مختلفة.

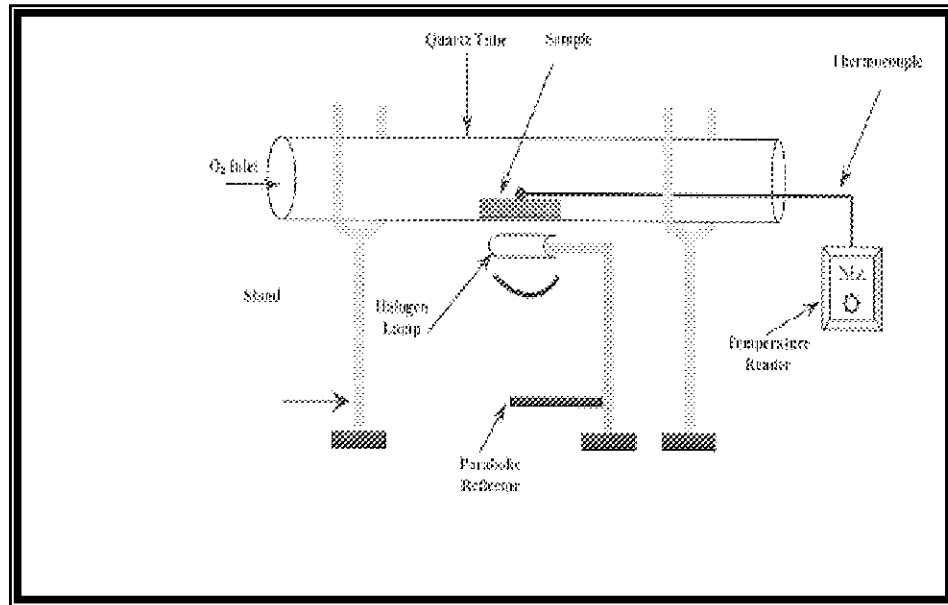
الجدول (4) يوضح قيم الاستجابة الطيفية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 ولسمك (350nm) ودرجة حرارة أكسدة مختلفة .

بدون طلاء	0.126
درجة حرارة أكسدة 350C°	0.27
درجة حرارة الأكسدة	$R_{(a)}$ الاستجابة الطيفية
	(A/W)

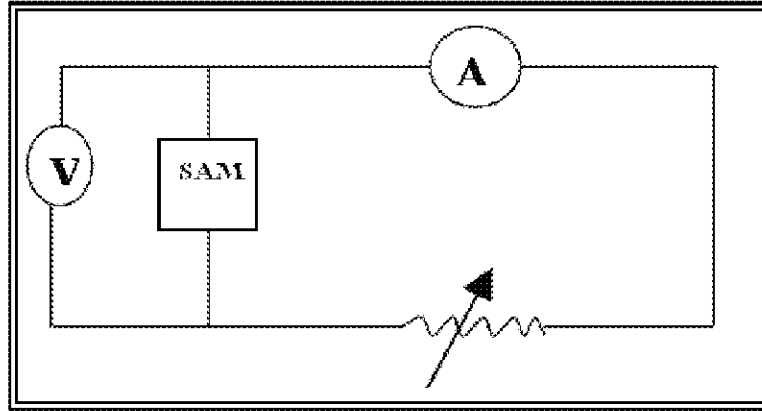
درجة حرارة أكسدة 400C°	0.34
درجة حرارة أكسدة 450C°	0.40
الاستجابة الطيفية $R_{(λ)}$ (A/W)	درجة حرارة الأكسدة
0.126	بدون طلاء
0.33	درجة حرارة أكسدة 350C°
0.37	درجة حرارة أكسدة 400C°
0.45	درجة حرارة أكسدة 450C°

الجدول (6) يوضح قيم الاستجابة الطيفية و الكفاءة الكمية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 وسمك (500nm) ودرجة حرارة أكسدة مختلفة .

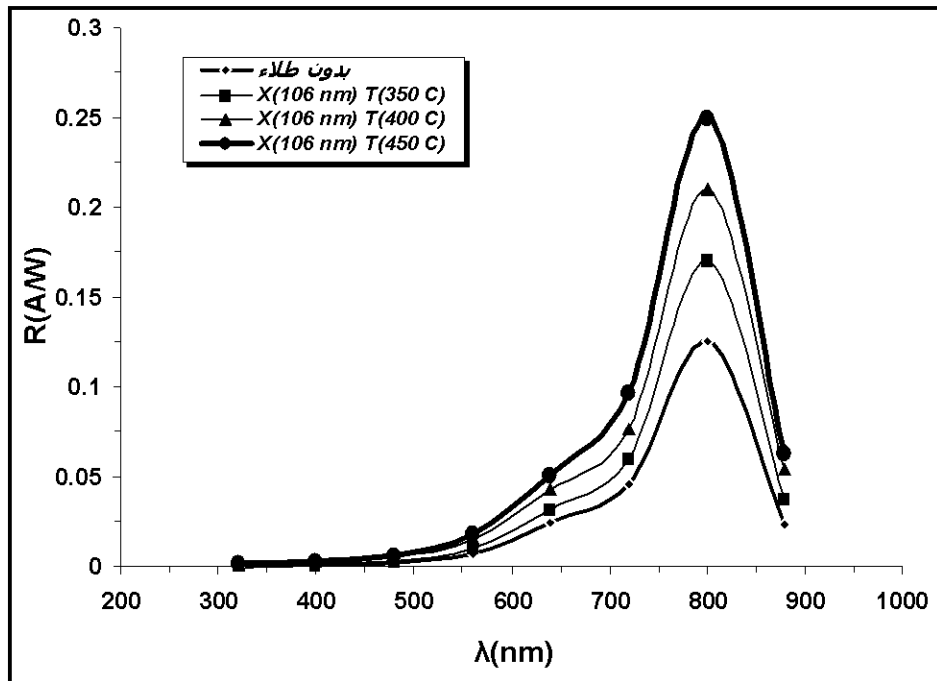
الكفاءة الكمية $Q_{E(\lambda)}$ %	الاستجابة الطيفية $R_{(\lambda)}$ (A/W)	درجة حرارة الأكسدة
1.95	0.126	بدون طلاء
5.11	0.33	درجة حرارة أكسدة $350^{\circ}C$
5.73	0.37	درجة حرارة أكسدة $400^{\circ}C$
7	0.45	درجة حرارة أكسدة $450^{\circ}C$



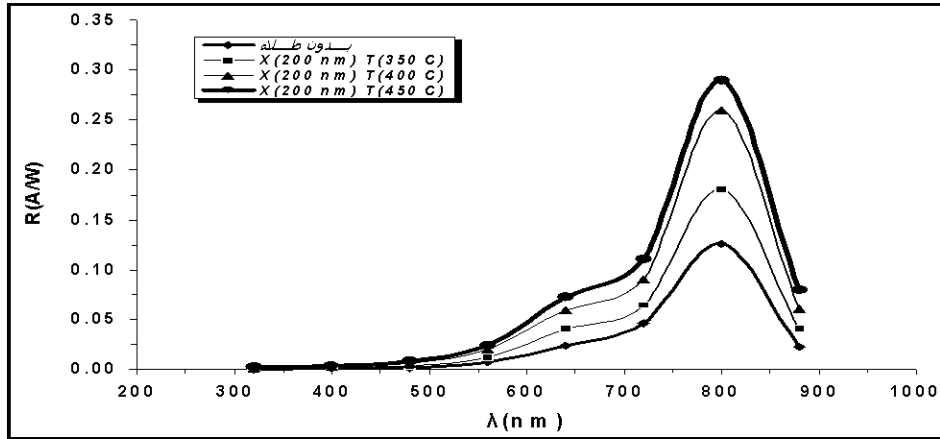
شكل (1) منظومة الأكسدة الحرارية السريعة



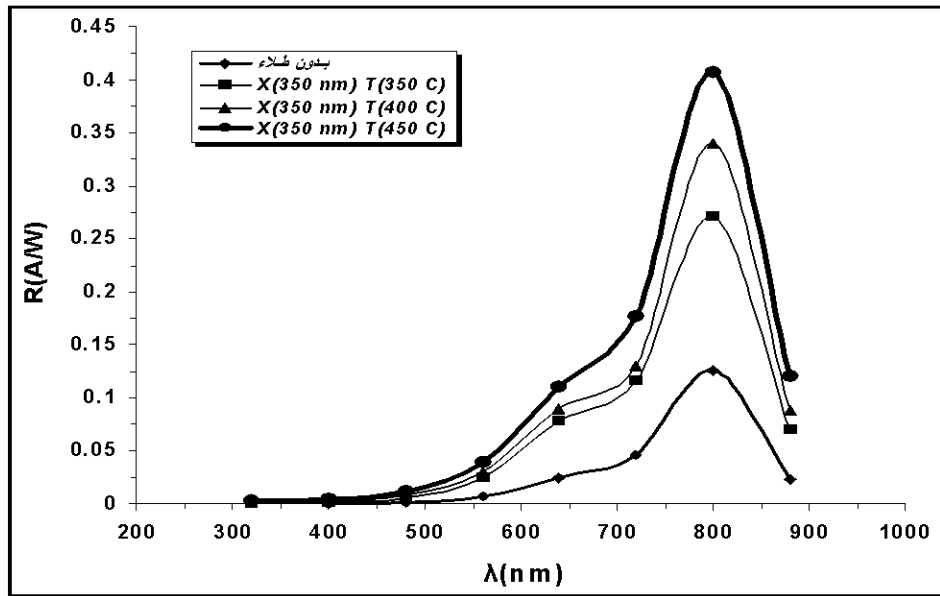
الشكل (2) دائرة لقياس الخصائص الكهربائية والفولتائية للخلية الشمسية .



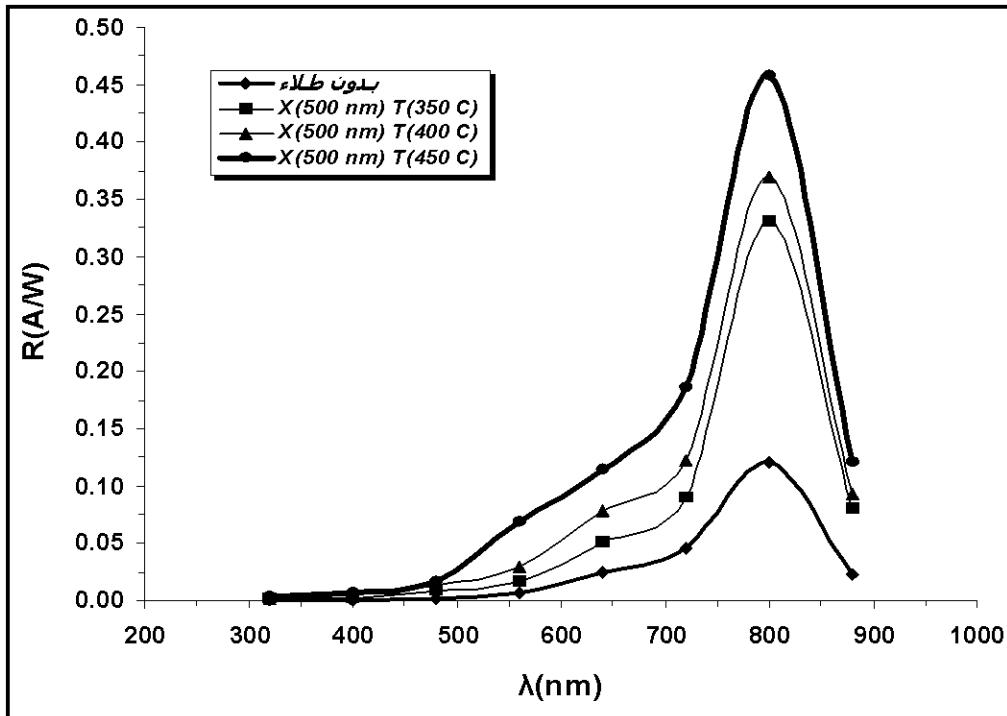
شكل (3) يمثل العلاقة بين الاستجابة الطيفية مع الطول الموجي للخلية الشمسية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 وسمك (106nm) ودرجات حرارة مختلفة .



شكل (4) يمثل العلاقة بين الاستجابة الطيفية مع الطول الموجي للخلايا الشمسية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 وسمك (200nm) ودرجات حرارة مختلفة .



شكل (5) يمثل العلاقة بين الاستجابة الطيفية مع الطول الموجي للخلايا الشمسية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 وسمك (350nm) ودرجات حرارة مختلفة .



شكل (6) يمثل العلاقة بين الاستجابة الطيفية مع الطول الموجي للخلايا الشمسية قبل وبعد الطلاء بغشاء In_2O_3 وسمك (500nm) ودرجات حرارة مختلفة .

The effect Thickness In_2O_3 film on Spectral Response of Silicon Solar Cell

* D.Sarya Dieab Mohamed Al-algawi * / Luban Rasheed Majeed * /IKbal.ABD. AL.Majeed

In this work, effect films thickness (106-200-350-500nm) of In_2O_3 deposited onto the p-n junction's silicon solar cells, as antireflection coating, by rapid thermal oxidation at different a range of oxidation temperature up to (350-400-450C°) on .

The measurement of the short circuit current-open circuit voltage show improved with conversion efficiency of the p-n junction solar cell after coating by In_2O_3 film 500nm thickness and oxidation temperature (3.95%) before coating it became (10.95%) after coating by at 450C° oxidation temperature .

And through the study of the detectives properties ,the maximum spectral response at the wave length 800nm was (0.126A/W) before the coating improved after coating it became (0.45A/W) ,at the same wavelength, as for the Quantum efficiency ,it was(1.95%) before the coating became (7%) by In_2O_3 film 500nm thickness at 450C° oxidation temperature.