

تصنيع ودراسة الخواص الكهربائية لخلايا الأغشية الرقيقة الشمسية من نوع Cu_2S , CdS

حسين شهاب عبد

مركز بحوث الموارد الطبيعية ، جامعة تكريت ، تكريت ، العراق

(تاريخ الاستلام: ٢٤ / ٢ / ٢٠١١ ---- تاريخ القبول: ١٦ / ٣ / ٢٠١١)

الملخص

شملت هذه الدراسة " تصنيع ودراسة الخواص الكهربائية للخلايا الشمسية من نوع (Cu_2S/CdS) المحضرة بطريقة التبخير الحراري تحت ضغط (10^{-6}) تور ، وذلك بتفاعل المركب الكيميائي ($CuCl$) مع المركب (CdS) وبدرجة حرارة مقدارها $220\text{ }^{\circ}C$. تمت دراسة تأثير شدة الأشعة على المتغيرات الدائرة المكافئة مثل " مقاومة التوالي R_s ، مقاومة التوازي R_{sh} ، كفاءة الخلية " وكانت أعلى كفاءة مسجلة لشدة 96mw/cm^2 لضوء الشمس هي (15.8%) ومن خلال دراسة تأثير الطول الموجي ظهر ان أفضل طول موجي للحصول على أعلى كفاءة (15.6%) هو (546) لشدة 96mw/cm^2 ، وكذلك جراء دراسة تأثير طبقة المركب (TiO) غير العاكسة على خواص الخلية حيث ظهر ان هذه الطبقة تعمل على زيادة امتصاصية الخلية للضوء الساقط ، وبالتالي زيادة كفاءتها بنسبة حوالي (20%) .

المقدمة

بطريقة تفاعل الحالة الصلبة بدرجة حرارة ($195\text{ }^{\circ}C$) على أرضية زجاجية ذات مساحة 25 cm^2 وكانت كفاءة هذه الخلية 13% .

طرق تحضير خلية Cu_2S/CdS :-

(4) يتحدد تصنيع هذه الخلية بتحضير طبقة الـ CdS وطبقة الـ Cu_2S :-

أولاً- طرق تحضير طبقة الـ CdS

أ- طريقة ترسيب البخار Vepour Deposition Method

تتلخص هذه الطريقة بتبخير كل من الكاديوم والكبريت من حوض (boat) من مادة التنتاليوم أو الكوارتز خلال الفراغ 10^{-6} تور بدرجة حرارة $1500\text{ }^{\circ}C$. أول من استخدم هذه الطريقة هو (Carlson) (3) وجماعته . ومن مساوئ هذه الطريقة هي احتمالية تلوث في الغشاء وعدم حصول التركيب المطلوب .

ب- طريقة الرش الكاثودي Cathodio Sputtering Method

في هذه الطريقة يوضع قطب من الـ CdS المطعم $InCl_3$ ويرسب غشاء الـ CdS على أرضية زجاجية أو بلاستيكية بوجود الاركون بعملية التفريغ الشحني التوهجي .

من محاسن هذه الطريقة هي أن غشاء الـ CdS له قابلية التصاق عالية بالأرضية المستخدمة (Fraser Melchior).

ثانياً- طرق تحضير طبقة الـ Cu_2S

أ- طريقة التبخير المباشر Direct Evaporation Method

تتلخص هذه الطريقة بتبخير مادة الـ Cu_2S مباشرة . أو بتبخير النحاس بوجود غاز كبريتيد الهيدروجين خلال الفراغ . وهذه الطريقة لا تعطي كفاءة جيدة (Bougnot and Savelli) (3) .

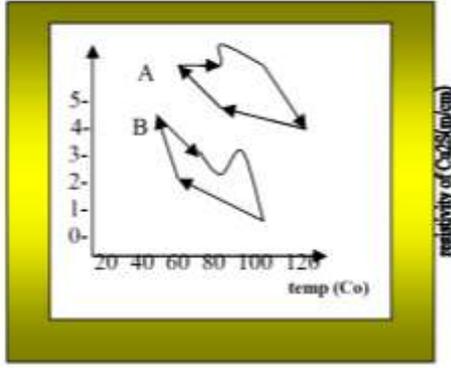
ب- طريقة الترسيب الكهربائي Electrodeposition method

بترسيب النحاس في محلول يحتوي على كبريتات النحاس الساخن . كذلك أستعمل سيانيد النحاس كعامل مساعد . نتائج هذه الطريقة لم تكن مشجعة بسبب عدم ثبوت الكيمياوي لغشاء الـ Cu_2S المحضر بهذه الطريقة (Williams and Buba) .

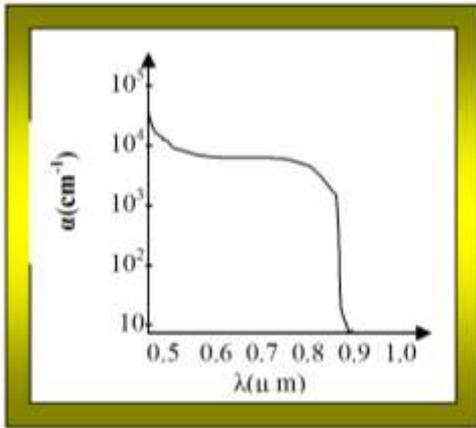
ج- طريقة تبخير الـ $CuCl$ CuCl Evaporation Method

ان الفائدة الرئيسية لهذا النوع من الخلايا الشمسية هي التقليل من الكلفة الاقتصادية الناتجة من سهولة عملية التصنيع واستعمال مواد رخيصة الثمن وإمكانية صناعتها على شكل مساحات (Gill and Bube 1970) يعتبر أول (1) من درس خلايا الشمسية له تأثير فولطاضوئي قوى جدا وفولتية الدائرة المفتوحة حوالي (0.54 v) وفي نفس السنة تم تصنيع خلية Cu_2S/CdS بمساحة نصف سنتيمتر مربع ذات كفاءة (1%) . لقد أجريت دراسة موسعة على هذه الخلايا الشمسية واستمرت هذه الدراسة خمس سنوات متواصلة وتضمنت طرق تنقية CdS من مواد الخام والنمو البلوري ودراسة الخواص الكهربائية والضوئية والميكانيكية لخلية الـ Cu_2S/ CdS (Medcalf and Fahrng 1958) وفي سنة 1960 نجح (Gorski) بترسيب طبقة سميكة من الـ CdS بطريقة التبخير خلال الفراغ وكانت كفاءة هذه الخلية (3.5%) . أما (Yefremenkova 1968) صنع خلية Cu_2S/CdS على أرضية زجاجية بكفاءة (3%) . أما ابرز العلمية بهذا الصدد فهي أعمال (Das 1978) (2) وجماعته حيث استخدموا طريقة تفاعل الحالة الصلبة (Solid state reaction) والتي تتضمن ترسيب غشاء من الـ CdS بسمك (250 nm) بمعدل (8 nm/s) بواسطة التبخير خلال الفراغ ورفع درجة حرارة الغشاء الى ($200\text{ }^{\circ}C$) ثم ترسيب طبقة من الـ ($CuCl$) على هذا الغشاء لتكوين طبقة الـ Cu_2S وكانت كفاءة هذه الخلية 5.1% . وفي سنة 1984 حضر (Harrison and Jenkins) خلية Cu_2S/CdS بمساحة 30 cm^2 (5) . وذلك بترسيب طبقة من الـ CdS على أرضية زجاجية بطريقة التردد الكاثودي الراديوي (Radio Frequency) ثم تبخير الـ $CuCl$ وتسخين الغشاء لتكوين طبقة الـ Cu_2S وكانت كفاءة هذه الخلية (8.5%) . أما (Bakus 1988) فقد حضر خلية Cu_2S/CdS بتبخير طبقة الـ Cu_2S ودرس تأثير الطول الموجي على تيار الدائرة القصيرة ولاحظ ان أحسن امتصاص يحدث هو عند الطول الموجي (525 nm) . وفي 1993 تم تحضير خلية Cu_2S/CdS من قبل (Sikkens) ، وذلك بتحضير طبقة الـ Cu_2S

تختلف في حالة الغشاء المصنع بطريقة تبخير الـ CuCl، حيث وجد (Nakayama) أن تركيز حوامل الشحنات هي $(9 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3})$. أما من ناحية تأثير درجة الحرارة على مقاومة غشاء الـ Cu₂S فإن الشكل (١) يبين السلوك الغريب للمقاومة مع درجة الحرارة. هذه الظاهرة فسرت على أساس ان زيادة ان مقاومة مع زيادة درجة الحرارة تؤدي الى تغير الثبات الكيمياوي لغشاء الـ Cu₂S (Hill). أن قابلية الامتنصاص لغشاء الـ Cu₂S عالية للفوتونات التي لها طاقة (1.2-1.5 eV) الشكل (٢) يبين تغيير معامل الامتنصاص مع طاقة الفوتون⁽⁷⁾. هذا التغير يعزى الى انتقال حوامل الشحنات بين مستويات الطاقة المقيدة خلال فجوة الطاقة (Mulder). أن الهدف من هذه الدراسة هو دراسة الظاهرة الفولطاضوئية لخلية Cu₂S/CdS المحضرة بطريقة التبخير ودون استخدام عملية التطعيم. ولزيادة استجابة الخلية للضوء استخدمنا طبقة TiO لتقليل كمية الضوء المنعكس ودراسة تأثير هذه الطبقة على من الكفاءة ومقاومة التوالي ودرست الخواص الكهربائية وتأثير الطول الموجي على كفاءة الخلية.



الشكل رقم (1) يبين تأثير درجة الحرارة على مقاومة غشاء الـ Cu₂S



الشكل رقم (2) تأثير الطول الموجي على معامل امتصاص الـ Cu₂S

تعتبر هذه الطريقة من أهم الطرق المستخدمة في تحضير غشاء الـ Cu₂S، حيث أن الغشاء المصنع بهذه الطريقة له خاصية ثبات كيمياوي عالية (high stoichiometry) وكفاءة الخلية (6-11%) (Casperd and Hill).

الخواص الكهربائية والضوئية لغشاء الـ CdS :-

تعتمد الخواص الكهربائية والضوئية على الطريقة المستخدمة في تصنيع الأغشية الرقيقة⁽⁵⁾، حيث وجد أن مقاومة غشاء الـ CdS المصنع بطريقة التبخير خلال الفراغ هي دالة للسمك ومعدل الترسيب عند درجة حرارة معينة. ومن خلال دراسة تأثير هول على غشاء الـ CdS وجد أن تركيز حوامل الشحنات هو $(10^{17}-10^{18} \text{ cm}^{-3})$ وقابلية الحركة لها $(1-20 \text{ cm}^2 \text{ v}^{-1} \text{ s}^{-1})$ (Wilson and Woods). أما علاقة فجوة الطاقة بدرجة الحرارة فقد درست من قبل (Bougnot and Savelli) واستنتج ان العلاقة بين درجة الحرارة وفجوة الطاقة لـ CdS هي :-

$$E_g = 2.58 - (5.2 \times 10^{-4})T \quad \dots\dots\dots(1)$$

حيث ان T درجة الحرارة بالكلفن .

من خلال دراسة خواص غشاء الـ CdS المصنع بطريقة الرش الكاثودي والمطعم بعملية التلدين بوجود غاز الهيدروجين والنيتروجين لوحظ زيادة مفاجئة في كل من تركيز حوامل الشحنات وحركية (μn) عند درجة حرارة (127 C°) ، وبذلك فان مقاومة غشاء الـ CdS تنخفض. أما (Bougnot) وجماعته فقد وجدوا أن نفوذية غشاء الـ CdS المصنع بطريقة الرش الكاثودي . بدرجة حرارة (380 C°) أقل من نفوذية الغشاء المصنع بطريقة التبخير خلال الفراغ عند نفس درجة الحرارة. أما من ناحية التحليل الطيفي لغشاء الـ CdS لم يلاحظ أي تغير في شكل الطيف للأغشية المصنعة بالطريقتين السابقتين (Bougnot and Savelli).

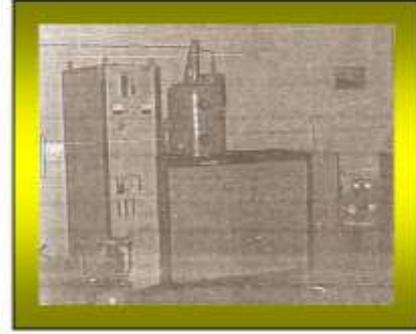
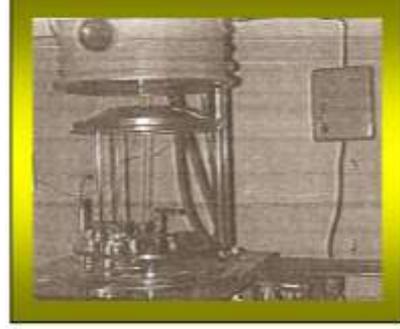
الخواص الكهربائية والضوئية لغشاء الـ Cu₂S :-

على الرغم من ان غشاء الـ Cu₂S يمكن الحصول عليه بعدة طرق، إلا ان معظم القياسات الكهربائية قد اعتمدت على الأغشية المبخرة⁽⁶⁾. وهذا ناتج من إمكانية وجود التطبيقات التجارية للـ Cu₂S بشكل غشاء رقيق يستخدم في صناعة المعدلات والخلايا الشمسية وعلى كل حال لا يوجد برهان لتحديد اختلاف ملاحظ بين خصائص الأغشية الرقيقة وتلك الخاصة بالنماذج الاعتيادية (bulk samples). ان الاختلاف بين القيم المدونة لإيصالية التيار المستمر الغشاء الـ Cu₂S ضمن مدى $(30-600 \text{ C}^\circ)$ يمكن إيعازها الى وجود الشوائب والأوكسجين على وجه الخصوص (Hirahra) أجريت عدة تجارب لقياس طول انتشار حوامل الأقلية، حيث وجد (Gill and Bube) من خلال دراستهم للعلاقة بين التيار الضوئي وارتفاع حاجز الجهد. أن طول الانتشار هو $(1 \times 10^{-5} \text{---} 4 \times 10^{-5} \text{ cm})$ وهذه النتيجة تعتبر مهمة في تحديد سمك غشاء الـ Cu₂S عند تصنيع الخلية الشمسية. ومن دراسة هول أستنتج (Stanley) أن تركيز حوامل الشحنات لغشاء الـ Cu₂S المصنع وبطريقة الترسيب الكهربائي هي $(10^{19} \text{ cm}^{-3})$. هذه القيمة

الجزء العملي

تقنية التفريغ والتحضير :-

تعتمد طريقة التحضير على مبدأ التبخير خلال الفراغ . ولتحقيق ذلك فقد استخدمنا وحدة التغطية (Coating unit) من نوع (BPU100)المستوردة من شركة (BALZERS) والمبينة هيئتها الخارجية والجزء الداخلي العلوي منه كما هو الشكل (٣ أ- ب) والقيمة القصوى العملية للفراغ الممكن الحصول عليها من خلال هذا الجهاز هي 10^{-7} تور ، حيث يتم الوصول الى ذلك على شكل مراحل .



وبإتمام ذلك نكون قد حصلنا على أرضية جاهزة للاستعمال . من الممكن تحضير الأغشية الرقيقة بواسطة هذا الجهاز بطريقتين :- الأولى - يدوية :- حيث يتم تحضير الغشاء بإمرار تيار كهربائي خلال الحويض ويتم تقدير سمك الغشاء بالطريقة الوزنية . الثانية - أوتوماتيكية :- حيث توجد وحدات سيطرة مصغرة تتحكم بسمك الغشاء ومعدل الترسيب ودرجة حرارة الأرضية من خلال برنامج يعطي للجهاز قبل عملية التبخير . ومن مميزات هذا الجهاز هو إمكانية تبخير ثلاثة مختلفة على التتابع.

تحضير الخلية الشمسية Cu_2S/CdS والأقنعة المستخدمة

المواد المستخدمة في تحضير الخلية هي $CuCl$ ، Al ، TiO ، CdS كل هذه المواد على درجة عالية من النقاوة (99.99 %). تم تحضير خليتين من نوع Cu_2S/CdS الأولى تحتوي على طبقة من TiO ، هذه الطبقة هي غير أساسية في عملية الظاهرة الفولطاصونية ، ولكن تساعد زيادة كمية الضوء الممتص . وأما الخلية الثانية فهي لا تحتوي على طبقة TiO . الشكل (٥ أ- ب) يوضح ترتيب طبقات الخلية التي تحتوي على TiO يتم تحضير هذه الخلية بترسيب غشاء رقيق جدا من TiO (12 nm) وبمعدل ترسيب (0.5 nm/s) من حويض التكتستن على أرضية زجاجية . ثم يرسب فوق غشاء TiO غشاء CdS من حويض الموليبدنم بسمك 200 nm بمعدل ترسيب 8 nm/s وبدرجة حرارة $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ لمدة خمس دقائق . ثم يترك ليبرد الى درجة حرارة الغرفة داخل الفراغ . وبعد ذلك يرسب غشاء من الـ $CuCl$ فوق غشاء الـ CdS من حويض موليبدنم آخر (الحويض المستخدم لتبخير الـ CdS لا يستعمل لتبخير الـ $CuCl$) بسمك (400 nm) وبمعدل ترسيب (8 nm/s) وبدرجة حرارة ($220\text{ }^{\circ}\text{C}$) ثم يترك ليبرد حسب المعادلة الكيميائية التالية :-



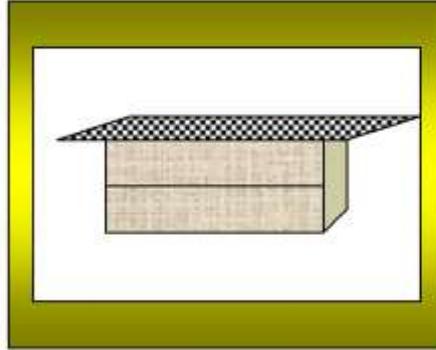
الطريقة تكون قد حصلنا على طبقة الـ Cu_2S . أما طبقة الـ $CdCl_2$ فنزيلها بغسل الأرضية مع الأغشية بالميثانول بوجود غاز النتروجين الجاف . بعد ذلك يتم تبخير غشاء من الـ CdS بسمك (350-400 nm) على غشاء الـ Cu_2S من حويض الموليبدنم وبمعدل ترسيب (8 nm/s) دون تسخين الغشاء للمحافظة على الثبوت الكيمياوي لطبقة الـ Cu_2S ، حيث أن ارتفاع درجة الحرارة ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) تؤدي الى تغيير التركيب الكيمياوي لهذه الطبقة ، وبعد ذلك نرسب طبقة الألمنيوم بسمك (10^3 nm) من حويض التكتستن . وفائدة هذه الطبقة هي المحافظة على الخلية من التلف ، وكذلك تعتبر كقطب توصيل . أما الخلية الثانية -شكل (٥ ب)- فهي لا تختلف عن الخلية الأولى سوى عدم احتواء الأخيرة على طبقة الـ TiO . والغرض من صنع خليتين هو دراسة إضافية لمدى تأثير طبقة الـ TiO على خواص الخلية الشمسية . ان جميع الأغشية قد حضرت بطريقة أوتوماتيكية تضمن إنتاج أغشية رقيقة على درجة عالية من الجودة والسرعة . من الصعب التحكم بسمك الـ Cu_2S ، حيث لا يمكن معرفة سمك هذه الطبقة المتبقية بعد إزالة طبقة الـ $CuCl_2$ بالميثانول ، ولكن تمكنا من

الشكل (٣ أ- ب) يبين الهيئة الخارجية والداخلية لوحدة التغطية

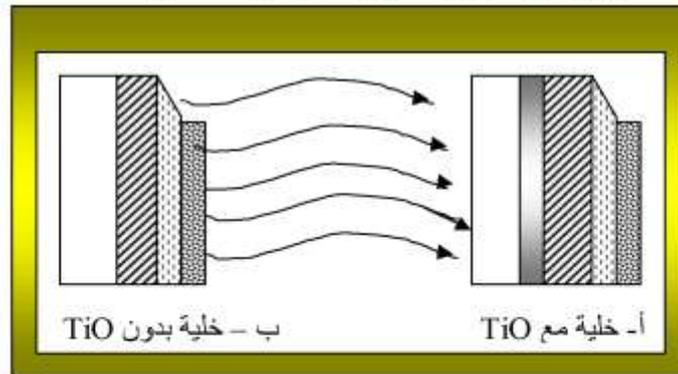
أما عملية التبخير فتتم من حويض (boat) من معدن الموليبدنم أو التكتستن ذو شكل هندسي خاص يتلائم لتبخير المادة المراد تبخيرها كما في شكل (٤) . أن الشكل الهندسي للحويض له دورا أساسيا في عملية التبخير ويعتمد شكل ونوع الحويض على نوعية المادة المراد تبخيرها . وعند التبخير يمرر تيار خلال لترسب على أرضية زجاجية معينة . وقد استعملنا زجاج صودا لهذا الغرض كمنطقة أسقاط للمادة المتبخرة في اتجاهها ، وقبل استعمال الأرضية للتبخير يجب ان تمر بمراحل تنظيف . نبدأ بغسلها جيدا بالماء وأحد مساحيق الغسيل ثم نزيل مسحوق الغسيل نهائيا بالماء ومن ثم نغسلها بالماء المقطر لنضعها بعد ذلك في محلول التنظيف ولمدة خمس ساعات فما فوق ثم نخرجها منه ونغسلها بالماء المقطر ثانية لنضعها في كحول الايثيلي ذو نقاوة (99.99%) لمدة لا تقل عن نصف ساعة ونخرجها لنضعها بعد ذلك في فرن كهربائي بدرجة حرارة ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$) ولمدة عشر دقائق

أما الأقنعة (masks) المستعملة لتحديد الشكل المطلوب للمادة المبخرة فهي كما مبينة في الشكل (٦) والقناع هو عبارة عن قطعة نحاسية رقيقة مستطيلة الشكل محفور فيها فتحات بأشكال محددة . ويجب تنظيف القناع أولاً ، وذلك بصقله بورق الصقل ثم ينظف بالكحول ان كل من الإشكال (d,c,b,a) تمثل الأقنعة المستخدمة لتحضير الخلية الشمسية . وأما الأقنعة (h,g,f,e) فأنها أستخدمت لتحضير الأغشية بتجربة هول.

الحصول على سمك (290 nm) بالاعتماد على المعادلة رقم (2) ، حيث ان وحجمين من مادة الـ CuCl تعادل حجم واحد من CdS وقد تأكدنا من سمك الغشاء بطريقة التداخل الضوئي والتي تعتبر من الطرق المهمة في قياس سمك الأغشية الرقيقة . في نفس الوقت الذي تم فيه تحضير إحدى طبقات الخلية الشمسية وضعنا أرضيات إضافية من الزجاج للحصول أما على غشاء رقيق من الـ Cu_2S فقط . وغشاء آخر من الـ CdS . والغرض هو دراسة هذه الأغشية كل على انفراد بتجربة تأثير هول لمعرفة نوع هذه الأغشية وكثافة حوامل الشحنات .

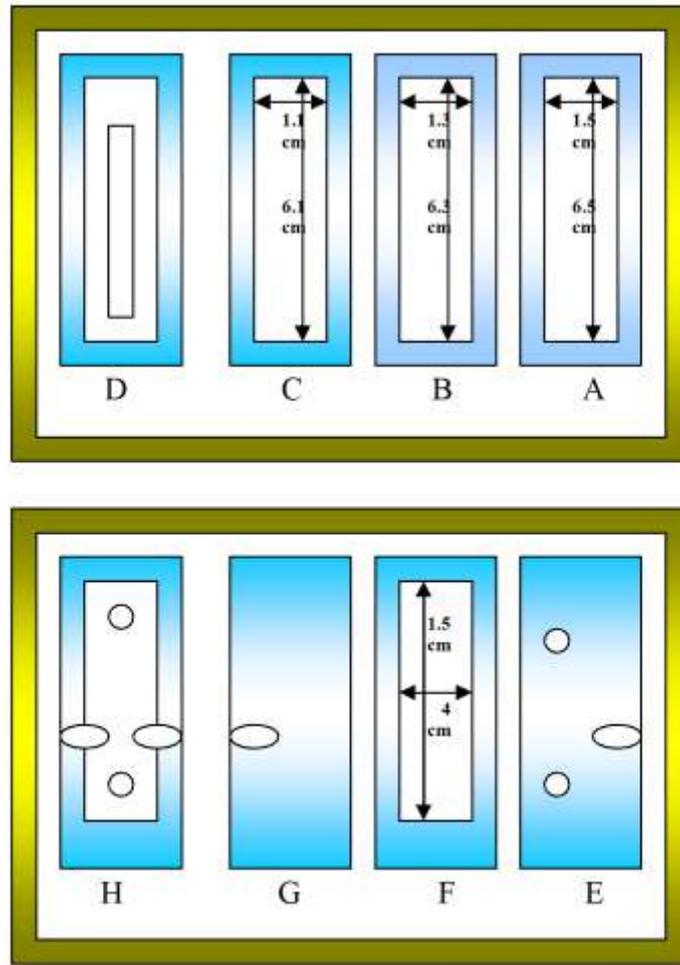


الشكل رقم (4) حويض المولبيدنام لتبخير الـ CdS و الـ CuCl



الشكل رقم (5-أ-ب) توضح ترتيب طبقات الخلية الشمسية

زجاج □
 CdS ▨
 TiO □
 Al ▩
 Cu₂S ▤



الشكل رقم (6) يبين مجموعة من الأوعية والنماذج بعد أتمامها

ب- طريقة التداخل الضوئي :-

هنالك عدة طرق تستخدم فيها مبدأ تداخل الضوء ، لقياس سمك الأغشية الرقيقة بصورة دقيقة . وقد استخدمنا إحدى هذه الطرق بإيجاد الأهداب الناتجة من التداخل لتعيين سمك الغشاء . لقد أتبعنا هذه الطريقة للحصول على أهداب فيزو باستخدام ضوء أحادي الموجة

ويمكن توضيح ذلك مايلي :-

بدأنا بتحضير غشاء Cu_2S على أرضية زجاجية بحيث تكون حافتي الغشاء حادة ، ثم بخرنا فوق هذا الغشاء طبقة من الألمنيوم بسمك (125nm) تغطي طبقة Cu_2S وجزء من الأرضية وأخيرا حضرت طبقة من الألمنيوم على أرضية زجاجية أخرى بسمك يسمح لجزء من الضوء بالنفاذ ويعكس الجزء الأخر الذي يسمى بالصفحة الضوئية توضع فوق الغشاء المراد قياس سمكه ، بحيث ان فجوة الهواء تكون اصغر مما يمكن . نستطيع عندها الحصول على أهداب واضحة وحادة عند تسليط ضوء الصوديوم بصورة عمودية على الغشاء وباستخدام الميكروسكوب المثبت على قدمه ذو قذوة قياسية تساوي (2×10^{-4} cm) ومن قياس عرض الهدب (S) والمسافة بين هديبين متتاليين

القياسات

يعتبر قياس سمك الغشاء من أولى العمليات اللازمة قبل إجراء القياسات الأخرى . وفيما يخص ذلك نذكر طريقتين شائعتين من طرق قياس سمك الأغشية الرقيقة هما:-

أ- طريقة الوزن

توزن المادة بواسطة ميزان حساس ويطبق القانون التالي لتقدير سمك الغشاء المقابل لهذا الوزن :-

$$t = \frac{m}{2\pi R^2 \rho} \quad \dots\dots(3)$$

m : وزن المادة المبخرة

R : هي المسافة بين حويض التبخير (boat) وأرضية الترسيب كما موضح في (٧) .

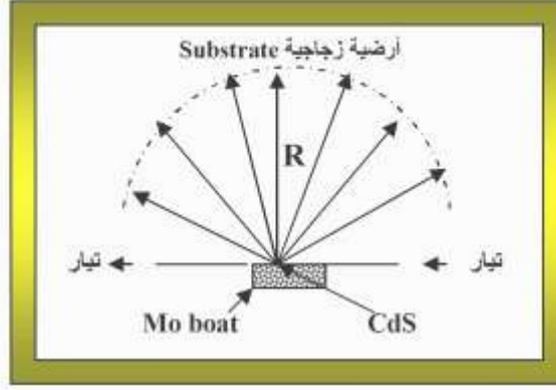
P: كثافة المادة المراد تبخيرها .

وبهذه الطريقة يكون السمك تقريبا "لان قسما" من الكتلة المبخرة تفقد عن طريق التطاير قبل التبخير او الارتداد من سطح الأرضية .

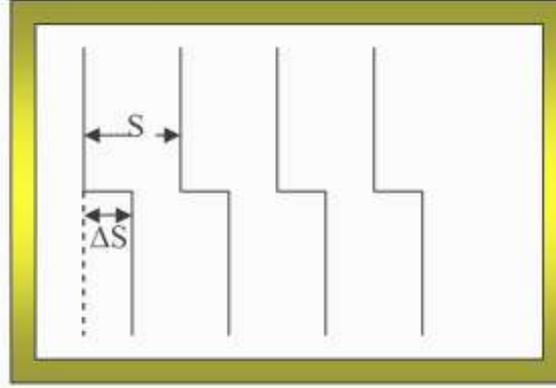
حيث أن λ الطول الموجي للضوء المستخدم .
تعتبر هذه الطريقة قياسية مطلقة في تعيين سمك الغشاء مقارنة
بالطرق الأخرى . ومنها الطريقة الوزنية وعندئذ يمكن رسم علاقة بين
الطريقة الوزنية والطريقة الضوئية .

(ΔS) كما موضح في الشكل (٨) وباستخدام العلاقة التالية نجد سمك
الغشاء t :-

$$t = \frac{\Delta S}{S} \frac{\lambda}{2} \dots\dots\dots(4)$$



الشكل رقم (7) يبين عملية تبخير وترسيب مادة الـ CdS من خلال حويض مصنع من مادة الموليبدنوم ومن ثم ترسيبه على أرضية زجاجية تبعد مسافة R عن الحويض



الشكل رقم (8) يبين أهداب فيزوز حيث ان S تمثل المسافة بين هذين متتاليين ΔS تمثل عرض الهدب

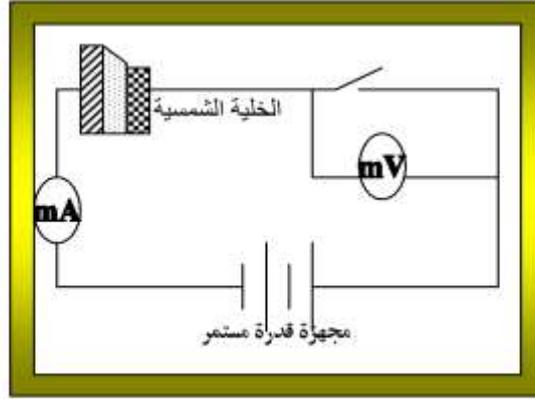
(Ω) . أما التيار المار بالدائرة فقد قيس بواسطة جهاز آخر من نفس النوع المستخدم في قياس الفولتية .لدراسة تأثير الطول الموجي على الخواص الخلية الشمسية استخدمنا مرشحات (filters) المصنعة من قبل شركة (LEYBOLD) الألمانية للحصول على أطوال موجية مختلفة ضمن الطيف المرئي .لقياس شدة الضوء الساقط على الخلية استخدمنا جهاز من نوع (KIPP & ZONEN BD 40) ، وكذلك أجريت دراسة تأثير هول على غشاء الـ Cu_2S وغشاء الـ CdS لغرض تبيان وحساب تركيز حوامل الشحنات . وقد أعدت نماذج خاصة من الأغشية لهذا الغرض بالطريقة التالية :-
تم تحضير النماذج بترسيب ثلاثة أقطاب من الألمنيوم بسمك (10^3 nm) على أرضية زجاجية نظيفة كما في الشكل (٦-H) وبعد ذلك يرسم غشاء من الـ CdS أو Cu_2S على هذه الأقطاب ثم يرسم قطب من الألمنيوم . أن الغشاء المرسم هنا له نفس خصائص

القياسات الكهربائية

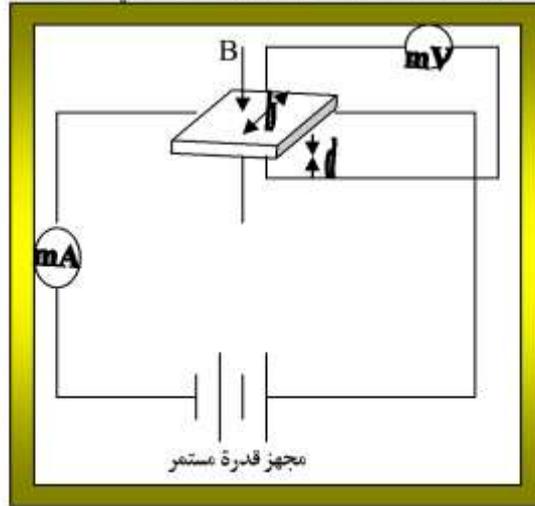
تشمل القياسات الكهربائية دراسة منحنى خواص (تيار - فولتية) في حالة الظلام وفي حالة تسليط ضوء الشمس ، وكذلك دراسة تأثير الطول الموجي على خواص الخلية الشمسية . وتتضمن القياسات الكهربائية أيضا " حساب تركيز حوامل الشحنات لكل من غشاء الـ CdS والـ Cu_2S وفحص نوعية هذه الأغشية ، وذلك من خلال دراسة تأثير هول (Hall effect) . قمنا بدراسة منحنى خواص (تيار - فولتية) بالاعتماد على دائرة المتمثلة بالشكل (٩) في كل من حالة الظلام والإضاءة ، وذلك بتسليط قوة دافعة كهربائية على طرفي الخلية الشمسية باستخدام جهاز قدرة مستقر (FARNELL L30/E) . وقد استخدمنا لقياس الفولتية المسطرة على طرفي الخلية جهاز نوع (Digital Nanovoltmeter Keithley 616) ذو دماعة (10^{14})

مجهز قدرة خلال الغشاء المراد فحصه . ويتسليط مجال مغناطيس عمودي على اتجاه التيار المار فانه يمكن قياس الفولتية المتولدة على طرفي الغشاء . ومن معرفة العلاقة بين التيار المار والفولتية المتولدة تمكنا من معرفة نوع الغشاء وحساب تركيز حوامل الشحنات .

الغشاء المستخدم في تصنيع الخلية الشمسية من ناحية السمك ومعدل الترسيب ودرجة الحرارة ، وبهذه الطريقة نكون وقد حصلنا على نموذج جاهز للفحص . أما طريقة قياس تأثير هول فقد اعتمدنا على الدائرة الكهربائية الموضحة بالشكل (١٠) ، حيث يمرر تيار مستمر بواسطة



الشكل رقم (9) يمثل الدائرة الكهربائية المستخدمة لقياس منحني خواص (تيار-فولتية)



الشكل رقم (10) يمثل الدائرة المستخدمة لفحص نوع الغشاء وحساب تركيز حوامل الشحنات

$(V_H)y$ على طرفي شبه الموصل كما موضح في الشكل (١٠) ، والشكل (١١) يمثل علاقة (التيار - الفولتية) لغشاء Cu_2S ذو سمك (290 nm) والذي يبين ان هذه العلاقة طردية . أما الشكل (١٢) والذي يوضح علاقة (التيار - الفولتية) لغشاء CdS ذو سمك (400 nm) فان العلاقة عكسية . أما قيمة المجال المغناطيسي المستخدم هي (0.77 T) وباستخدام المعادلة التالية :-

$$R_H = \frac{(V_H)y}{Bz} \frac{d}{I_x} \dots\dots(5)$$

حيث :-

المناقشة والنتائج

من المعروف بأنه تعريف الخلية الشمسية هو عبارة عن دايو ثنائي ($p-n$ junction) ، واستناداً لهذا التعريف لا بد ان يتوفر لدينا غشاء من نوع (p) وأخر من نوع (n) . لأجل فحص نوع الغشاء وحساب تركيز حوامل الشحنات الأكثرية اعتمدنا على دراسة تأثير هول على الأغشية الرقيقة . تم تحضير الأغشية المراد فحص نوعيتها في نفس وقت تحضير طبقات الخلية الشمسية لتأمين الحصول على نتائج دقيقة . عند مرور تيار I_x خلال شبه موصل بوجود مجال مغناطيسي B_z عمودي على هذا التيار وحسب قاعدة اليد اليمنى ستولد قوة تغير اتجاه حوامل الشحنات مما يؤدي الى زيادة حوامل الشحنات في جهة مع نقصان مماثل في الجهة الأخرى ولهذا السبب يتولد فرق جهد

حوامل الشحنات الأيونية ($2.36 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$) . أما لغشاء الـ CdS كان تركيز هذه الحوامل ($5.5 \times 10^{24} \text{ m}^{-3}$) . أجريت دراسة هذه العلاقة بتسليط فولتية انحياز أمامي بمدى (0 - 1.5 v) وفولتية انحياز خلفي بمدى قليل جدا" (0 - 0.4 v) لتجنب حدوث انهيار عند المفروق والذي يحدث بصورة سريعة لهذا النوع من الخلايا . مما سبق يمكن استنتاج ان عوامل الدائرة المكافئة (V_{oc} , I_{sc} , R_{sh} , R_s) للخلاية الشمسية تتغير مع تغير شدة الضوء الساقط على الخلايا ويختلف مدى هذا التغير في حالة الشدات الواطئة عما هو عليه في حالة الشدات العالية . أن تأثير طبقة TiO يتبين بالشكل (١٣) ، (١٤) فمن الممكن ملاحظة هذا التأثير من خلال الشكلين والجدول (١) ، حيث ان هذه الطبقة تؤدي الى زيادة كفاءة الخلايا من خلال الزيادة الحاصلة في كل من تيار الدائرة القصيرة ومقاومة التوازي ونقصان مقاومة التوالي لشدة معينة وزيادة إمكانية وصول طاقة الضوء الى المنطقة الحساسة وبذلك تزداد الطاقة الخارجة . ان الكفاءة التي حصلنا عليها هي (15.8 %) للخلاية التي تحتوي على طبقة الـ TiO . أما كفاءة الخلايا التي لا تحتوي على TiO فكانت كفاءتها (13.6%) عند شدة (96 mw/cm^2) لضوء الشمس . تعتبر هذه النتيجة جيدة مقارنة على البحوث والدراسات المقدمة في هذا المجال التي اتبع فيها طريقة تفاعل الحالة الصلبة لتحضير غشاء الـ Cu_2S . أما تأثير الطول الموجي على فولتية الدائرة المفتوحة (V_{oc}) فإنه قليل من المقارنة مع التغير الحاصل لتيار الدائرة القصيرة (I_{sc}) عند شدة معينة . وهذا يمكن تفسيره على أساس ان فولتية الدائرة المفتوحة (V_{oc}) محددة القيمة بمقدار حاجز جهد المفروق ، بينما ليس هنالك تحديد لتيار الدائرة القصيرة الذي يعتمد على شدة وطاقة الضوء الساقط . ظهر من دراسة تأثير الطول الموجي ان أعلى كفاءة لخلاية (Cu_2S) + TiO هي (15.6%) عند طول موجي 546nm وبشدة 96 mw/cm^2 . هذه النتيجة تختلف بعض الشيء عن نتائج البحوث والدراسات السابقة .

RH: معامل هول
d : سمك الغشاء (m)
Ix : التيار المار خلال الغشاء (mA)
 $(V_H)Y$: الفولتية المتولدة (mV)
Bz : المجال المغناطيسي المسلط
وبالاعتماد على إشارة R_H يمكن معرفة نوع حوامل الشحنات الأيونية للغشاء وبذلك يمكن تعيين نوع الغشاء إذا كان من نوع p أو n . أن R_H تكون موجبة للغشاء من نوع (p) وسالبة للغشاء من نوع (n) . يمكن معرفة ذلك من اتجاه ميل علاقة (التيار - الفولتية) ، حيث ان الشكل (١١) يبين أن R_H موجبة وهذا يؤكد أن غشاء الـ Cu_2S هو من نوع P والشكل (١٢) يبين أن R_H سالبة وهذا يعني أن غشاء الـ CdS من نوع n . أما من ناحية حساب قيمة تركيز حوامل الشحنات الأيونية فقد اعتمدنا على المعادلة التالية :-

$$R_H = \frac{1}{e} \frac{p-b^2n}{(p+bn)^2} \dots\dots\dots(6)$$

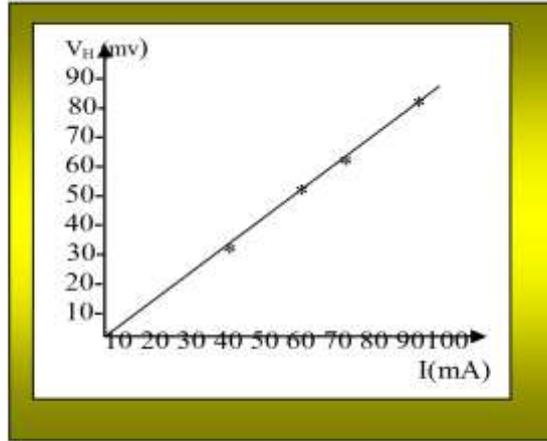
حيث n ، p تركيز حوامل الشحنات ، b ثابت ، e شحنة الإلكترون .
من هذه المعادلة نلاحظ عندما ($p \gg n$) فان معادلة (٢) تصبح :-

$$R_H = \frac{1}{ep} \dots\dots\dots(7)$$

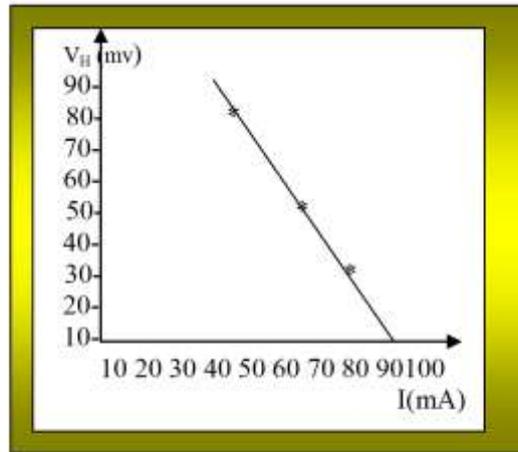
أما في حالة ($n \gg p$) فان معادلة (٢) تصبح :-

$$R_H = \frac{-1}{ep} \dots\dots\dots(8)$$

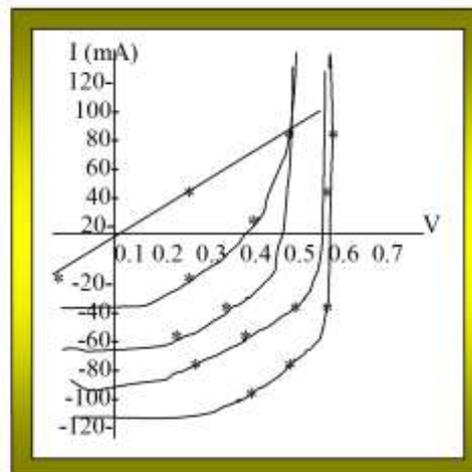
وبتعويض عن R_H من معادلة (١) في معادلة (٣) أو (٤) يمكن حساب تركيز هذه الحوامل . بالنسبة لغشاء الـ Cu_2S كان تركيز



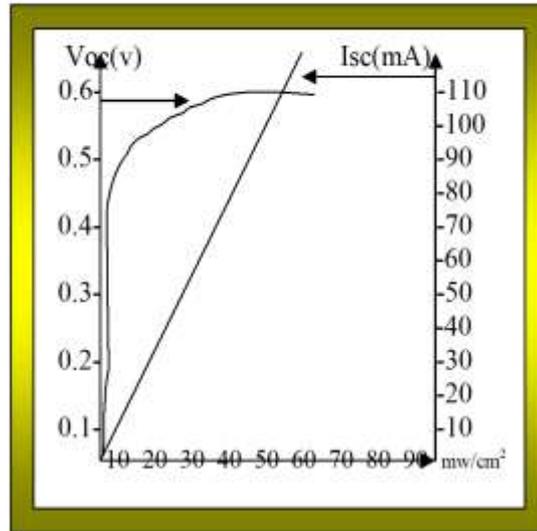
الشكل رقم (11) يمثل علاقة التيار مع الفولتية عند دراسة تأثير هول على غشاء الـ (Cu_2S)



الشكل رقم (12) يمثل علاقة التيار مع الفولتية عند دراسة تأثير هول على غشاء الـ (CdS)



الشكل (13) يمثل علاقة (التيار - الفولتية) في حالة الظلام والإضاءة بضوء الشمس Cu_2S/CdS



الشكل (14) يمثل علاقة (التيار - الفولتية) في حالة الغلام والإضاءة بضوء الشمس $\text{Cu}_2\text{S} / \text{CdS} + \text{TiO}$

ثانياً - نتيجة زيادة مقاومة التوالي من (1.2Ω) الى (1.4Ω) يظهر انخفاض قليل في قيمة تيار الدائرة القصيرة (4 mA) وهذا يؤدي الى تقليل كفاءة الخلية بمقدار (0.8 %).

٢- لأجل رفع كفاءة الخلية الشمسية يجب ان تكون كل من R_s و $1/R_{sh}$ اقل ما يمكن ، وهذه النقطة يجب ان تؤخذ بنظر الاعتبار عند تصنيع الخلايا الشمسية مهما كان نوعها .

٣- ان تغيير الطول الموجي يعمل على تغيير كفاءة الشمسية وتيار الدائرة القصيرة بسبب اعتماد الظاهرة الفولطاضونية على طاقة الضوء الساقط .

٤- ان الكفاءة التي تم الحصول عليها (15.8 %) لخلية $\text{Cu}_2\text{S} / \text{CdS} + \text{TiO}$ و (13.6 %) لخلية $\text{Cu}_2\text{S} / \text{CdS}$ تعتبر من النتائج المشجعة اذا قورنت بنتائج البحوث الحالية حيث ان أعلى كفاءة مسجلة لهذا النوع من الخلايا هي (12.3 %) (Casperd and Hill 2002).

الاستنتاجات

ان خلية الـ $\text{Cu}_2\text{S} / \text{CdS}$ الشمسية تعتبر من الخلايا المهمة التي يتركز عليها اهتمام الكثير من الباحثين . تم تحضير طبقة الـ Cu_2S بتفاعل الحالة الصلبة ، وذلك بتفاعل الـ CdS والـ CuCl بدرجة حرارة (220 Co) تحت ضغط (6-10) تور . وباستخدام تأثير هول تم التأكد من ان غشاء الـ Cu_2S هو من نوع (p) وغشاء الـ CdS من نوع (n) ، وكذلك تم استنتاج ما يلي :-

١- ان من أهم العوامل التي تتغير نتيجة تغيير شدة الضوء وتؤثر على سلوك العوامل الأخرى بنسبة اكبر هي :-
أولاً - مقاومة التوازي التي تؤثر على سلوك فولتية الدائرة المفتوحة ، كما في الجدول (١) الذي يبين ارتفاع فولتية الدائرة المفتوحة من (0.49 v) الى (0.63v) عندما تنخفض مقاومة التوازي بمقدار (96Ω) .

الجدول (١) يبين تأثير شدة أشعة الشمس وطبقة الـ TiO على خواص الخلية الشمسية

Light Intensity mw/cm^2	خلية $\text{Cu}_2\text{S} / \text{CdS}$ الشمسية						خلية $\text{Cu}_2\text{S} / \text{CdS} + \text{TiO}$ الشمسية					
	R_s Ω	R_{sh} Ω	Isc mA	Voc v	F.F	η %	R_s Ω	R_{sh} Ω	Isc mA	Voc v	F.F	H %
24	1.4	120	38	0.49	0.51	10.4	1.2	132	42	0.55	0.72	6.2
48	1.61	50	76	0.57	0.56	11.9	1.41	62	83	0.64	0.74	7.6
72	1.66	29	112	0.6	0.54	13.4	1.45	41	126	0.67	0.50	7.7
96	1.67	24	152	0.63	0.48	15.8	1.47	36	168	0.7	0.46	7.8

المصادر

- 1- G. W. and Day , R.E, "The action of light on selenium ", press .Roy .Soc.,A41.244. (2001)
- 2-Anderson ,R.L, "Solid State electron ,5,211,(2001)
- 3-Bakus,C.E,"Solar cells ",1,431.(1999).
- 4-J, and Shockley ,W., "Solar energy conversion "B., Springer –Verlag ,New York.(1999)
- 5-J.Perotin ,M., Marucchi, J. Sirkis ,M., and Savelli ,M., "Photovoltiac",. Spec. Conf.IEEE. New York. (2005).
- 6-Bryant ,F.,J., and Glew ,R.W., "Energy conversion "19.,188.(2008)
- 7-Carlson ,A.,E., "Research on Semiconductor films ",.WADC Tech .Rep.67-72 (1999).
- 8-Hill,. R" Active and passive thin film devices" ,edited by Coutts,T.J., Academic press, New York, (2005).

Fabrication and Studying the Electrical Properties of thin films "Cu₂S\CdS" Solar Cells

Hussein Shihab Abed

Digital image processing Research Center of Natural Resources , Tikrit University , Tikrit , Iraq

(Received: 24 / 2 / 2011 ---- Accepted: 16 / 3 / 2011)

Abstract

This thesis covers the fabrication and the study of the electrical properties of Cu₂S/CdS Solar Cell. The Cell has been devised by evaporation under vacuum of about (10⁻⁶)Torr.

The Cu₂S layer has been obtained by Solid State reaction between two thin layers namely CdS and CuCl at (220 C^o).

The effect of the variable parameters of the Solar Cell,(series resistance Rs),(shunt resistance Rsh)and the efficiency have been studied as a function of sun light and monochromatic light intensities .

The highest obtained efficiency was (15.8%) for (96 mw/cm²).Sun light intensity and (15.6%) for (546 nm) wavelength light of (96 mw/cm²)intensity .