

دراسة الخصائص الضوئية لأفلام SnO₂ وحساب عرض المجال المحظور للانتقالات الإلكترونية لها

الدكتورة ختام قنجاوي*

احمد سليمان**

(تاريخ الإيداع 12 / 5 / 2014. قُبِلَ للنشر في 8 / 9 / 2014)

□ ملخص □

يعدّ هذا العمل استمراراً لدراسة الخصائص الضوئية لأفلام أكسيد القصدير المحضرة بطرائق تقنية متطورة. فقد قمنا في هذا البحث بدراسة تحضير أفلام رقيقة من أكسيد القصدير SnO₂ بتقانة المحلول الجيلاتيني (Sol-Gel) بطريقة التغطية بالسكب (Flow Coating) حيث يعدّ هذه التقنية رخيصة وبسيطة. تم تحضير عينة أفقية مع وبدون استخدام مثبت، وأيضاً مع مثبت لعينة عمودية. أظهرت نتائج المطيافية الضوئية أن أكبر قيم للنفاذية T كانت للأفلام الأفقية التي أضفنا لها مثبت، أما بالنسبة إلى الامتصاصية A فكانت أكبر قيم لها للعينة العمودية، و بالنسبة إلى الانعكاسية R فقد كانت قيمها أقل في الأفلام الأفقية مع مثبت، منها في الأفلام الأفقية بدون مثبت و كذلك للأفلام العمودية. كما بينت النتائج و الحسابات في قيم عرض المجال المحظور (فجوة الطاقة) Eg في الانتقالات الإلكترونية المباشرة المسموحة و الممنوعة وفي الانتقالات غير المباشرة المسموحة و الممنوعة للعينات المدروسة، أن أكبر قيمة لعرض فجوة الطاقة هي (3.85ev) و ذلك في الانتقالات المباشرة الممنوعة، أما أصغر قيمة لعرض فجوة الطاقة فهي (3.65ev) و ذلك في الانتقالات غير المباشرة المسموحة. بينما أبدت العينة العمودية أصغر قيمة لفجوة الطاقة على الإطلاق حيث بلغت (3.45ev) و ذلك في الانتقالات غير المباشرة المسموحة.

الكلمات المفتاحية: الأفلام الرقيقة، المطيافية الضوئية، تقانة المحلول الجيلاتيني، أكسيد القصدير.

* أستاذ مساعد - قسم العلوم الأساسية - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** طالب دراسات - قسم القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية و الكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Studding of the optical characteristics of SnO₂ thin films, and calculating the energy gap for the electronic transfers

Dr. Khitam Kanjarawi*
Ahmad Sulieman**

(Received 12 / 5 / 2014. Accepted 8 / 9 / 2014)

□ ABSTRACT □

The present work could be consider as a continuous study of the optical characteristics of tin oxide thin films prepared by a developed techniques. We studied the preparation of tin oxide (SnO₂) thin films by Sol-Gel method, flow coating technique, which is considered a simple and cheap technique. A horizontal samples were prepared with and without stabilizer, also a vertical sample with stabilizer. The spectrophotometry measurements showed higher transmittance peak (T) value for the horizontal sample with the stabilizer, and higher absorptivity for the vertical one, though the reflectivity R were lower in the horizontal sample with stabilizer than in the horizontal sample without stabilizer, also than in the vertical sample. The energy gap E_g for the direct allowed and unallowed transfers and for the indirect allowed and unallowed transfers for the studied samples were also calculated, and they showed that the highest value of E_g was (3.85eV) for the direct unallowed transfers in the horizontal sample with stabilizer, and the lowest value of E_g was (3.65eV) for the indirect allowed transfers without stabilizer. For the vertical film with stabilizer showed the lowest value for the energy gap ever (3.45eV) for the indirect allowed transfers.

Key words: Thin films, Spectrophotometry, Sol-Gel technique, Tin oxide.

*Associate Professor, Department of Basic Science, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Postgraduate student, Department of Mechanic Forces, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria

مقدمة:

يعد أكسيد القصدير SnO_2 ذا خصائص متعددة فهو نصف ناقل من النوع n ذي فجوة طاقة عريضة تتراوح بين $(3.5-4.3\text{eV})$ [1]، و كتلته الحجمية قرابة 6.85gr/cm^3 ، و درجة انصهار 1630°C [2][3]، يعد هذا العمل استمرار لدراسة الخصائص الضوئية لأفلام أكسيد القصدير المحضرة بطرائق تقنية مختلفة، حيث درس كل من فاضل دهش، وعباس مشجل من العراق عام 2011 تأثير الكوبالت Co على أفلام أكسيد القصدير، وذلك في بحث بعنوان "دراسة تأثير التشويب بالكوبلت Co على الثوابت البصرية لأغشية SnO_2 "، فوجدا أن نفوذية هذه الأفلام كانت تتراوح بين $(43-75)\%$ ، وفي العام نفسه درس كل من Majid M.Shukur، وFadhel M.Hasson، و Mossad M.Ali من العراق أيضاً خصائص أفلام أكسيد القصدير في بحث بعنوان "Optical Properties Of Sprayed Tin Oxide Film" فكانت نفوذية هذه الأفلام ضمن مجال الضوء المرئي تتراوح بين $(40-71.5)\%$. أجرى Adnan H.Mohammed بحث حول أفلام أكسيد القصدير في جامعة المستنصرية، في العراق بعنوان "Effect of annealing temperature on optical properties of undoped and antimony doped tin oxide thin films" ووجد أن النفوذية لها تتراوح بين $(48-83)\%$. نستنتج من الدراسات السابقة أنه يمتلك نفوذية ضوئية عالية جداً، لذلك سنقوم بدراسة الخواص الضوئية لأفلام رقيقة من أكسيد القصدير المحضرة بتقانة Sol-Gel.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث الى تحديد أفضل الشروط لتحضير أفلام رقيقة من أكسيد القصدير بتقنية الترسيب بالسكب، ودراسة قيم النفوذية (Transmittance) و الامتصاصية (Absorbance) و الانعكاسية (Reflectivity) لأفلام أكسيد القصدير بوضعية أفقية و عمودية و تأثير المثبت DEA على تلك القيم، كما تهدف الدراسة إلى حساب عرض المجال المحظور لها و المقارنة فيما بينها. وتكمن أهمية الأفلام الرقيقة لهذا الأكسيد في تطبيقاتها المتزايدة، حيث تستخدم في الخلايا الشمسية (Solar Cells)، و الكواشف البصرية (Photo Detectors)، والترانزستورات (Transistors) [4] وازدادت هذه الأهمية بسبب سهولة تحضير هذه الأفلام حيث تم التوصل إلى عدة تقنيات بسيطة ورخيصة التكلفة نسبياً لتحضير الأفلام الرقيقة لأكاسيد المعادن، مثل تقنية المحلول الجيلاتيني (Sol-Gel). حيث تعد هذه التقنية من التقنيات المفضلة لأنها تتميز بكلفتها المنخفضة، وانخفاض الضياعات في المادة، وملائمتها للسطوح الواسعة، [5]، كما أنها قابلة للمقارنة مع الطرق الأكثر تعقيداً. حيث تم الاعتماد على هذه الطريقة من أجل تحضير أنواع عديدة من الأفلام الرقيقة مثل: أكسيد الزنك ZnO، أكسيد النحاس CuO، أكسيد التنغستين WO_3 [6].....الخ. حيث تمتلك أفلام أكاسيد القصدير استخدامات واسعة و خاصة في مجال الخلايا الشمسية [7] و النواقل الشفافة و الحساسات الغازية و المواد ذات الكهربية الايجابية [8][9]. تعود النفوذية العالية و الناقلية الجيدة في هذه الأفلام إلى تركيبه الكيميائي و إلى بنيته الميكروية.

طرائق البحث و موادہ:

أولاً: الطريقة المتبعة في تحضير الأفلام الرقيقة: تحضر الأفلام الرقيقة بطرق فيزيائية عديدة مثل طريقة التبعثر (sputtering)[10]، و طريقة التبخير تحت ضغط منخفض....الخ. كما تحضر بطرق كيميائية [11,12] و الترسيب بالحمام الكيميائي (CBD)[13]، و الترسيب بطريقة المحلول الجيلاتيني (Sol-Gel)الخ. اخترنا من هذه الطرق تقنية المحلول الجيلاتيني (Sol-Gel)، بطريقة الترسيب بالسكب (Flow Coating)، حيث تعدّ هذه التقنية من التقنيات المفضلة لأنها تتميز بكلفتها المنخفضة، و انخفاض الضياعات في المادة المترسبة، و ملائمتها للسطوح الواسعة[14]. تم الحصول على أفلام رقيقة من أكسيد القصدير SnO₂ مرسبه على الزجاج، و ذلك انطلاقاً من كلوريد القصدير كمادة بادئة، وباستخدام محلات عضوية مختلفة (الميتانول، الايتانول، البروبانول).

ثانياً: تنظيف الركائز: يجب تنظيف الركائز المستخدمة قبل ترسيب الأفلام وذلك من أجل تجنب أي تشوهات قد تطرأ على الأفلام. تم تنظيف الركائز باستخدام الأمواج فوق الصوتية مع مراعاة الشرطين التاليين:
أ- الاختيار المناسب لسائل الغسيل.
ب- نقاوة الماء.[15]

قمنا بتنظيف الركائز وفق الخطوات التالية: غسل الركائز بمحلول صابوني مائي، ثم تم وضع الركائز في جهاز الأمواج فوق الصوتية لمدة ربع ساعة، و بعد إخراجها تم تجفيف الركائز بعناية، مع الانتباه إلى عدم ترك أي أثر للغبار على الركيزة.

ثالثاً: العمل التجريبي:

1- التحضير الكيميائي للعينات:

تم في البداية تحديد المحل المناسب، حيث أخذت ثلاثة مقادير من رباعي كلوريد القصدير، وأضيفت كل واحدة منها على حدة إلى كل من الايتانول، الميتانول، و البروبانول ثم وضعت على محرك مغناطيسي لمدة ساعة، فلاحظنا أن أفضل انحلالية كانت مع الايتانول، لذلك تم الاعتماد على الايتانول في تحضير العينات المدروسة، واستبعد من الدراسة كل من الميتانول و البروبانول.

- يؤخذ 5gr من رباعي كلوريد القصدير كمادة بادئة، و يحل في 20ml من الايتانول و يوضع على محرك مغناطيسي لمدة ساعة، ثم يترك في المخبر لمدة يوم كامل، و زيادة في الدقة يرشح المحلول بواسطة ورق ترشيح، و بهذا الشكل يصبح جاهزاً للاستخدام في عملية الترسيب بالسكب. فيقسم المحلول إلى قسمين: قسم نضيف له دي إيتيل أمينك مثبت و قسم لا نضيف له المثبت.

- تم في هذه الدراسة اتباع طريقة الترسيب بالسكب (Flow Coating)، حيث يصب المحلول الجيلاتيني على الشرائح وفق مايلي:

- العينة الأولى: يسكب المحلول بدون إضافة مثبت على الشريحة الزجاجية الموضوعة بشكل مائل بحوالي

5 درجات عن طاولة المخبر، و نتركها لمدة 10 دقائق ثم نضعها بشكل أفقي على الطاولة

- العينة الثانية: يسكب المحلول مع إضافة مثبت على الشريحة الزجاجية الموضوعة بشكل مائل بحوالي

5 درجات عن طاولة المخبر، و نتركها لمدة 10 دقائق ثم نضعها بشكل أفقي على الطاولة.

- العينة الثالثة: يسكب المحلول مع إضافة مثبت على الشريحة الزجاجية، التي تميل بزاوية 5 درجات

تقريباً عن الشاقول لمدة 10 دقائق، و بعد السكب نثبتها بحيث تتعامد مع طاولة المخبر.

توضع الشرائح بعد ذلك في المرمدة (الفرن الكهربائي) على الدرجة 400°C و تترك لمدة ساعة، ثم تنقل الشريحة إلى مجفف درجة حرارته 200°C لمدة ساعة، ثم توضع في جو المخبر لتجرى عليها الدراسة الضوئية. يمكن وصف ما حدث سابقا من الناحية الكيميائية وفق المعادلات التالية:

حيث يتشرد كل من الايتانول و كلوريد القصدير وفق المعادلتين:

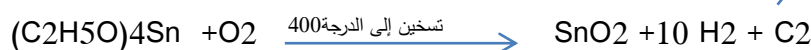


ثم يتفاعل:



وهو المحلول الجيلاتيني Sol-Gel .

يمكن وصف ما حدث في المرمدة بالمعادلة الكيميائية:



2- الدراسة الضوئية:

سنقوم فيما يلي بعرض نتائج الدراسة الضوئية التي تمت على أفلام أكسيد القصدير SnO_2 و التي تم قياسها باستخدام جهاز الطيف الضوئي (Spectrophotometer/ JASCO-530) ضمن المجال الموجي المرئي-300-850nm و الموجود في قسم الأغذية، كلية الزراعة، جامعة تشرين. حيث تم قياس:

1- النفوذية T: و تعرف بأنها النسبة بين شدة الإشعاع النافذ إلى شدة الإشعاع الساقط. وقد أخذت من الجهاز نفسه، و من ثم باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة تم حساب المعاملات الضوئية الأخرى.

2- الامتصاصية A: و هي النسبة بين شدة الإشعاع الممتص إلى شدة الإشعاع الساقط، وتحسب من العلاقة: $A = \log(1/T)$ (1) حيث T تمثل النفوذية

3- الانعكاسية R: و هي النسبة بين شدة الإشعاع المنعكس إلى شدة الإشعاع الساقط، والتي تحسب من العلاقة:

$$R = 1 - (A + T) \quad (2)$$

4- معامل الامتصاص α : يعرف معامل الامتصاص بأنه النسبة بين النقصان في كمية الإشعاع الساقط إلى واحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة الضوئية الساقطة داخل الوسط، و يحسب من العلاقة:

$$\alpha = 2.303A/d \quad (3)$$

حيث d هي سماكة الفيلم و التي تم قياسها بإتباع طريقة الوزن الحجمي.

5- معامل التخماد Ko: يعرف معامل التخماد بأنه كمية ما تمتصه الكثرونات المادة المدروسة من طاقة

فوتونات الإشعاع الساقط عليها، و يحسب نظرياً من العلاقة:

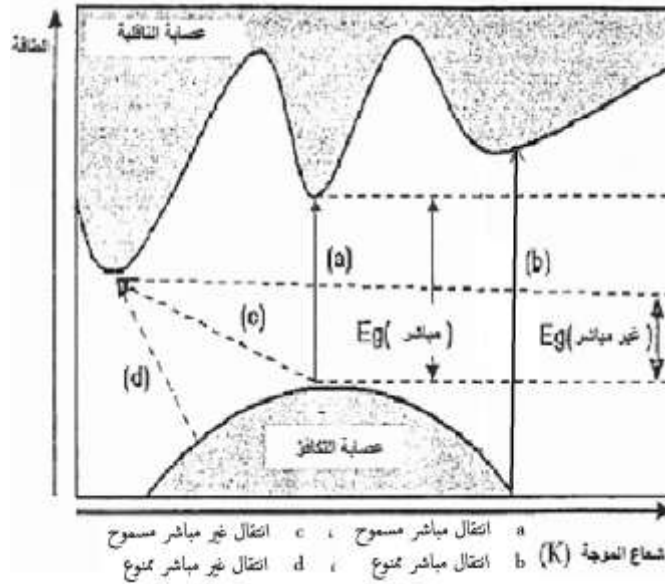
$$K_o = \alpha\lambda/4\pi \quad (4)$$

6- قرينة الانكسار no : وهي النسبة بين سرعة الضوء في الخلاء على سرعته في الوسط، وتحسب من

$$no = \sqrt{\left(\left(\frac{1+R}{1-R}\right)^2 - (Ko^2 + 1)\right)} + \left(\frac{1+R}{1-R}\right) \quad (5) \text{ العلاقة}$$

7- عرض المجال المحظور Eg و الانتقالات الإلكترونية: يعرف عرض المجال المحظور بأنه فسحة الطاقة الفاصلة بين حزمتي التكافؤ و الناقلية، و فيها يتواجد الإلكترون أقل فترة زمنية ممكنة، ثم ينتقل الإلكترون من حزمة التكافؤ الى حزمة الناقلية بعد امتصاصه الطاقة الكافية، و يتم ذلك بطريقتين:

أ-الانتقالات الإلكترونية المباشرة : وهي الانتقالات الحاصلة بين أعلى نقطة من حزمة التكافؤ وأخفض نقطة في حزمة الناقلية ويدعى هذا الانتقال بالانتقال المباشر المسموح، أما عندما يكون الانتقال من المناطق المجاورة لمنطقة الانتقال المباشر المسموح عندها يعرف هذا الانتقال بالانتقال المباشر الممنوع، ويمكن حساب معامل الامتصاص لها بالمعادلة التالية: (6) $\alpha hv = A1 (hv - Eg)^f$



حيث أن $A1$ ثابت يعتمد على خصائص حزمتي التكافؤ و الناقلية.

$h\nu$ - طاقة الفوتون الممتص.

Eg - عرض المجال المحظور ..

α - معامل الامتصاص. الشكل (1) يبين الانتقالات الإلكترونية المباشرة و غير المباشرة

أما الأس r فإن قيمته تعتمد على طبيعة الانتقالات ففي حالة الانتقال المباشر المسموح تكون قيمته $1/2$,

$$\alpha hv = A1 (hv - Eg)^{1/2} \quad \text{فتأخذ العلاقة (6) الشكل:}$$

وفي حالة الانتقال المباشر الممنوع تكون قيمة الأس مساوية الى $2/3$ ، فتأخذ العلاقة (6) الشكل:

$$\alpha hv = A1 (hv - Eg)^{2/3}$$

حيث تم حساب عرض المجال المحظور للأفلام في الانتقال اتغير المباشرة المسموحة وذلك بتمثيل تغيرات

$(\alpha hv)^{1/2}$ بدلالة طاقة الفوتون $h\nu$ بيانيا، و رسم مستقيم مماس للمنحني الذي نحصل عليه. فتكون نقطة تقاطع

المماس مع المحور $h\nu$ هي قيمة المجال المحظور للانتقالات الالكترونية غير المباشرة المسموحة، وبالطريقة نفسها تم حساب المجال المحظور للانتقالات الالكترونية الأخرى، كما هو واضح في الأشكال (10)، (11)، (12).

ب- الانتقالات الكترونية غير المباشرة :

في هذا النوع من الانتقالات تكون قمة حزمة التكافؤ وقعر حزمة الناقلية في مناطق مختلفة من الفضاء المدروس، وهنا نوعان من الانتقالات غير المباشرة، ففي حالة الانتقال من أعلى نقطة في حزمة التكافؤ إلى أخفض نقطة من حزمة الناقلية الموجودة في مناطق مختلفة من الفضاء المدروس، يكون الانتقال غير المباشر مسموحاً. أما في حالة الانتقال من مناطق مجاورة لأعلى نقطة من حزمة التكافؤ إلى المناطق المجاورة لأخفض نقطة من حزمة الناقلية، فعندها يكون الانتقال غير المباشر ممنوعاً ويمكن حساب معامل الامتصاص لها بالمعادلة التالية :

$$\alpha h\nu = B (h\nu - E_g \pm E_{ph})^r \quad (7)$$

حيث إن B : ثابت يعتمد على درجة الحرارة إضافة إلى خصائص حزمتي التكافؤ والناقلية، ويعبر عن احتمالية الانتقال

E_{ph} - طاقة الفوتون المساعد، بحيث تؤخذ إشارة (+) عند امتصاص الفوتون، و إشارة (-) عند انبعائه.

أما الأس r : فإن قيمته تعتمد على طبيعة الانتقالات ، ففي حالة الانتقال غير المباشر المسموح تكون قيمته 2، فتأخذ العلاقة (7) الشكل :

$$\alpha h\nu = B (h\nu - E_g \pm E_{ph})^2$$

وفي حالة الانتقال غير المباشر الممنوع تكون قيمة الأس r تساوي 3، فتأخذ العلاقة (2) الشكل:

$$\alpha h\nu = B (h\nu - E_g \pm E_{ph})^3$$

8- ثابت العزل الكهربائي ϵ : هو الاستقطاب الحاصل لشحنات مادة الوسط نتيجة امتصاص طاقة الإشعاع

الساقت من قبل شحنات ذلك الوسط، ويعطى بالمعادلة: $\epsilon = \epsilon_1 - i\epsilon_2$ (8)

حيث: ϵ_1 الجزء الحقيقي لثابت العزل، ϵ_2 الجزء التخيلي لثابت العزل

ويرتبط ثابت العزل ϵ بجزأيه الحقيقي والتخيلي مع قرينة الانكسار n_0 بالمعادلة :

$$\epsilon = (n_0 - iK_0)^2 \quad (9)$$

بحل المعادلتين (8) و (9) حلاً مشتركاً نحصل على: $\epsilon_2 = 2n_0 K_0$ (10) $\epsilon_1 = n_0^2 - K_0^2$ (11)

وقد تم قياسهما نظرياً وفق العلاقتين (10)، (11).

النتائج و المناقشة:

سنقوم بعرض النتائج التجريبية الضوئية التي تمت على أفلام SnO_2 النقية على ركائز أفقية و عمودية، باستخدام دي إيتيل أمين كمثبت تارة، و تارة بدون مثبت، لطبقة واحدة ذات سماكة وسطية تساوي 100nm و ذلك باستخدام جهاز الطيف الضوئي (Spectrophotometer / JASCO -530) ضمن المجال الموجي 300-850nm. حيث تم قياس النفوذية T من جهاز Spectrophotometer، ثم حسبنا كلاً من الانعكاسية R ، و الامتصاصية A ، و بقية المقادير الضوئية الآتية (ϵ_2 , ϵ_1 , n_0 , K_0) باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة (11)، (10)، (5)، (4).

الجدول (1) نتائج الدراسة الضوئية للعينة الأولى بدون المثبت و الركيزة أفقية.

| λ (nm) | T % | A % | R % | α (cm ⁻¹) | hv (ev) | (ahv) ² | (ahv) ^{3/2} | (ahv) ^{1/3} | k0 | n0 | ϵ_1 | ϵ_2 |
|----------------|--------|--------|--------|------------------------------|----------|--------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|--------------|--------------|
| 850 | 96.539 | 1.530 | 1.9312 | 3522.2 | 1.460294 | 2.65E+07 | 6.80E+10 | 2.57E+03 | 1.71E+03 | 2.38E-02 | 1.08E+00 | 1.16E+00 |
| 825 | 96.463 | 1.564 | 1.9732 | 3601.4 | 1.504545 | 2.94E+07 | 7.95E+10 | 2.71E+03 | 1.81E+03 | 2.36E-02 | 1.08E+00 | 1.17E+00 |
| 800 | 96.315 | 1.631 | 2.0544 | 3754.7 | 1.551563 | 3.39E+07 | 9.89E+10 | 2.91E+03 | 1.94E+03 | 2.39E-02 | 1.08E+00 | 1.18E+00 |
| 775 | 96.206 | 1.680 | 2.1145 | 3868.4 | 1.601613 | 3.84E+07 | 1.19E+11 | 3.10E+03 | 2.07E+03 | 2.39E-02 | 1.09E+00 | 1.18E+00 |
| 750 | 95.818 | 1.855 | 2.3265 | 4271.6 | 1.655000 | 5.00E+07 | 1.77E+11 | 3.53E+03 | 2.36E+03 | 2.55E-02 | 1.10E+00 | 1.20E+00 |
| 725 | 95.182 | 2.145 | 2.6735 | 4937.9 | 1.712069 | 7.15E+07 | 3.02E+11 | 4.23E+03 | 2.82E+03 | 2.85E-02 | 1.11E+00 | 1.23E+00 |
| 700 | 95.671 | 1.922 | 2.407 | 4425.5 | 1.773214 | 6.16E+07 | 2.42E+11 | 3.92E+03 | 2.62E+03 | 2.47E-02 | 1.10E+00 | 1.21E+00 |
| 675 | 94.521 | 2.447 | 3.0318 | 5634.8 | 1.838889 | 1.07E+08 | 5.56E+11 | 5.18E+03 | 3.45E+03 | 3.03E-02 | 1.13E+00 | 1.27E+00 |
| 650 | 93.262 | 3.030 | 3.7085 | 6975.7 | 1.909615 | 1.77E+08 | 1.18E+12 | 6.66E+03 | 4.44E+03 | 3.61E-02 | 1.16E+00 | 1.34E+00 |
| 625 | 91.957 | 3.642 | 4.4015 | 8384.9 | 1.986000 | 2.77E+08 | 2.31E+12 | 8.33E+03 | 5.55E+03 | 4.17E-02 | 1.19E+00 | 1.41E+00 |
| 600 | 90.479 | 4.345 | 5.1758 | 10005 | 2.068750 | 4.28E+08 | 4.43E+12 | 1.03E+04 | 6.90E+03 | 4.78E-02 | 1.22E+00 | 1.49E+00 |
| 575 | 88.866 | 5.126 | 6.0076 | 11804 | 2.158696 | 6.49E+08 | 8.27E+12 | 1.27E+04 | 8.49E+03 | 5.40E-02 | 1.26E+00 | 1.59E+00 |
| 550 | 87.28 | 5.909 | 6.8115 | 13605 | 2.256818 | 9.43E+08 | 1.45E+13 | 1.54E+04 | 1.02E+04 | 5.95E-02 | 1.30E+00 | 1.69E+00 |
| 525 | 85.444 | 6.832 | 7.7242 | 15731 | 2.364286 | 1.38E+09 | 2.57E+13 | 1.86E+04 | 1.24E+04 | 6.57E-02 | 1.35E+00 | 1.81E+00 |
| 500 | 83.253 | 7.960 | 8.787 | 18329 | 2.482500 | 2.07E+09 | 4.71E+13 | 2.28E+04 | 1.52E+04 | 7.29E-02 | 1.40E+00 | 1.96E+00 |
| 475 | 80.759 | 9.281 | 9.9603 | 21371 | 2.613158 | 3.12E+09 | 8.71E+13 | 2.79E+04 | 1.86E+04 | 8.08E-02 | 1.46E+00 | 2.14E+00 |
| 450 | 78.879 | 10.304 | 10.817 | 23726 | 2.758333 | 4.28E+09 | 1.40E+14 | 3.27E+04 | 2.18E+04 | 8.50E-02 | 1.51E+00 | 2.28E+00 |
| 425 | 75.632 | 12.129 | 12.239 | 27929 | 2.920588 | 6.65E+09 | 2.71E+14 | 4.08E+04 | 2.72E+04 | 9.45E-02 | 1.59E+00 | 2.53E+00 |
| 400 | 68.694 | 16.308 | 14.998 | 37551 | 3.103125 | 1.36E+10 | 7.91E+14 | 5.83E+04 | 3.88E+04 | 1.20E-01 | 1.76E+00 | 3.09E+00 |
| 375 | 61.457 | 21.143 | 17.4 | 48684 | 3.310000 | 2.60E+10 | 2.09E+15 | 8.06E+04 | 5.37E+04 | 1.45E-01 | 1.92E+00 | 3.67E+00 |
| 350 | 51.555 | 28.773 | 19.672 | 66252 | 3.546429 | 5.52E+10 | 6.49E+15 | 1.17E+05 | 7.83E+04 | 1.85E-01 | 2.08E+00 | 4.30E+00 |
| 325 | 38.793 | 41.125 | 20.082 | 94693 | 3.819231 | 1.31E+11 | 2.37E+16 | 1.81E+05 | 1.21E+05 | 2.45E-01 | 2.10E+00 | 4.36E+00 |
| 300 | 10.264 | 98.869 | -9.133 | 227654 | 4.137500 | 8.87E+11 | 4.18E+17 | 4.71E+05 | 3.14E+05 | 5.43E-01 | 5.32E-01 | -1.28E-02 |

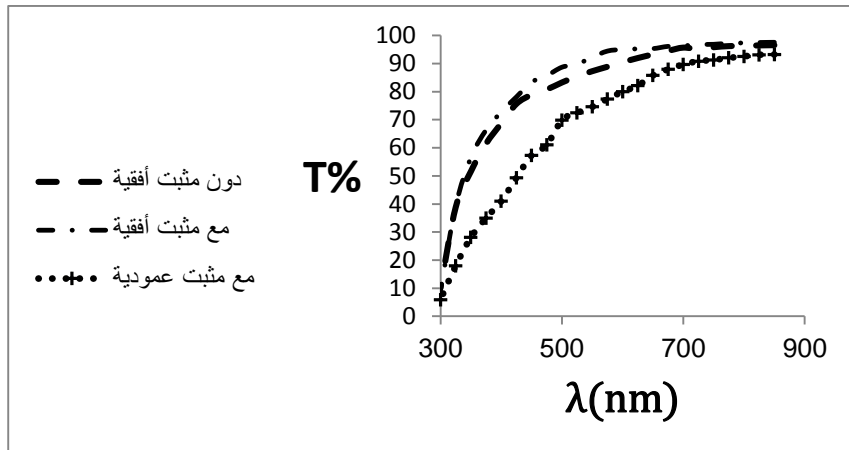
الجدول (2) نتائج الدراسة للعينة الثانية مع مثبت و الركيزة أفقية.

| λ (nm) | T % | A % | R % | α (cm ⁻¹) | h ν (eV) | (ahv) ² | (ahv) ³ | (ahv) ^{1/2} | (ahv) ^{1/3} | K0 | n0 | ϵ_1 | ϵ_2 |
|----------------|--------|--------|--------|------------------------------|--------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------|----------|--------------|--------------|
| 950 | 97.539 | 1.0821 | 1.3788 | 2491.7 | 1.4603 | 1.32E+07 | 1.82E+03 | 2.41E+10 | 1.21E+03 | 1.69E-02 | 1.06E+00 | 1.12E+00 | 7.12E-02 |
| 825 | 97.463 | 1.1162 | 1.4211 | 2570 | 1.5045 | 1.50E+07 | 1.93E+03 | 2.89E+10 | 1.29E+03 | 1.69E-02 | 1.06E+00 | 1.12E+00 | 7.14E-02 |
| 800 | 97.315 | 1.1821 | 1.503 | 2721.8 | 1.5516 | 1.78E+07 | 2.11E+03 | 3.77E+10 | 1.41E+03 | 1.73E-02 | 1.06E+00 | 1.13E+00 | 7.36E-02 |
| 775 | 97.206 | 1.2309 | 1.5636 | 2834.3 | 1.6016 | 2.06E+07 | 2.27E+03 | 4.68E+10 | 1.51E+03 | 1.75E-02 | 1.06E+00 | 1.13E+00 | 7.44E-02 |
| 750 | 96.818 | 1.4043 | 1.7774 | 3233.4 | 1.6550 | 2.86E+07 | 2.68E+03 | 7.69E+10 | 1.78E+03 | 1.93E-02 | 1.07E+00 | 1.15E+00 | 8.28E-02 |
| 725 | 96.725 | 1.4459 | 1.8287 | 3329.4 | 1.7121 | 3.25E+07 | 2.85E+03 | 9.26E+10 | 1.90E+03 | 1.92E-02 | 1.08E+00 | 1.16E+00 | 8.26E-02 |
| 700 | 96.272 | 1.6498 | 2.0778 | 3798.9 | 1.7732 | 4.54E+07 | 3.37E+03 | 1.53E+11 | 2.25E+03 | 2.12E-02 | 1.09E+00 | 1.18E+00 | 9.19E-02 |
| 675 | 96.095 | 1.7289 | 2.175 | 3983.2 | 1.8389 | 5.37E+07 | 3.66E+03 | 1.99E+11 | 2.44E+03 | 2.14E-02 | 1.09E+00 | 1.19E+00 | 9.33E-02 |
| 650 | 95.285 | 2.0977 | 2.6176 | 4830.1 | 1.9096 | 8.51E+07 | 4.61E+03 | 3.92E+11 | 3.07E+03 | 2.50E-02 | 1.11E+00 | 1.23E+00 | 1.11E-01 |
| 625 | 95.194 | 2.139 | 2.667 | 4925.3 | 1.9850 | 9.57E+07 | 4.89E+03 | 4.68E+11 | 3.26E+03 | 2.45E-02 | 1.11E+00 | 1.23E+00 | 1.09E-01 |
| 600 | 95.005 | 2.2256 | 2.7699 | 5124.6 | 2.0688 | 1.12E+08 | 5.30E+03 | 5.99E+11 | 3.53E+03 | 2.45E-02 | 1.12E+00 | 1.24E+00 | 1.09E-01 |
| 575 | 94.411 | 2.4978 | 3.0914 | 5751.5 | 2.1587 | 1.54E+08 | 6.21E+03 | 9.97E+11 | 4.14E+03 | 2.63E-02 | 1.13E+00 | 1.27E+00 | 1.19E-01 |
| 550 | 92.219 | 3.518 | 4.263 | 8100.4 | 2.2558 | 3.34E+08 | 9.14E+03 | 3.56E+12 | 6.09E+03 | 3.55E-02 | 1.18E+00 | 1.39E+00 | 1.68E-01 |
| 525 | 89.756 | 4.6935 | 5.502 | 10807 | 2.3643 | 6.53E+08 | 1.28E+04 | 8.30E+12 | 8.52E+03 | 4.52E-02 | 1.24E+00 | 1.54E+00 | 2.24E-01 |
| 500 | 88.669 | 5.2229 | 6.1082 | 12026 | 2.4825 | 8.91E+08 | 1.49E+04 | 1.13E+13 | 9.95E+03 | 4.79E-02 | 1.27E+00 | 1.60E+00 | 2.43E-01 |
| 475 | 85.673 | 6.7156 | 7.6114 | 15463 | 2.6132 | 1.63E+09 | 2.02E+04 | 3.90E+13 | 1.35E+04 | 5.84E-02 | 1.34E+00 | 1.80E+00 | 3.14E-01 |
| 450 | 83.349 | 7.9089 | 8.741 | 18213 | 2.7583 | 2.52E+09 | 2.51E+04 | 6.30E+13 | 1.67E+04 | 6.52E-02 | 1.40E+00 | 1.95E+00 | 3.65E-01 |
| 425 | 78.082 | 10.745 | 11.173 | 24742 | 2.9206 | 5.22E+09 | 3.61E+04 | 1.35E+14 | 2.41E+04 | 8.37E-02 | 1.53E+00 | 2.34E+00 | 5.13E-01 |
| 400 | 72.719 | 13.835 | 13.448 | 31356 | 3.1031 | 9.77E+09 | 4.94E+04 | 2.33E+14 | 3.30E+04 | 1.01E-01 | 1.66E+00 | 2.76E+00 | 6.75E-01 |
| 375 | 66.306 | 17.845 | 15.849 | 41089 | 3.3100 | 1.85E+10 | 6.80E+04 | 1.29E+15 | 4.53E+04 | 1.23E-01 | 1.82E+00 | 3.29E+00 | 8.91E-01 |
| 350 | 58.489 | 24.804 | 18.707 | 57112 | 3.5464 | 4.10E+10 | 1.01E+05 | 4.63E+15 | 6.75E+04 | 1.59E-01 | 2.01E+00 | 4.03E+00 | 1.26E+00 |
| 325 | 39.27 | 40.594 | 20.136 | 93471 | 3.8192 | 1.27E+11 | 1.78E-05 | 2.27E+16 | 1.19E+05 | 2.42E-01 | 2.11E+00 | 4.38E+00 | 2.04E+00 |
| 300 | 9.2459 | 103.41 | -12.65 | 238099 | 4.1375 | 9.70E+11 | 4.93E+05 | 4.19E+17 | 3.28E+05 | 5.68E-01 | 4.14E-01 | -1.51E-01 | 9.42E-01 |

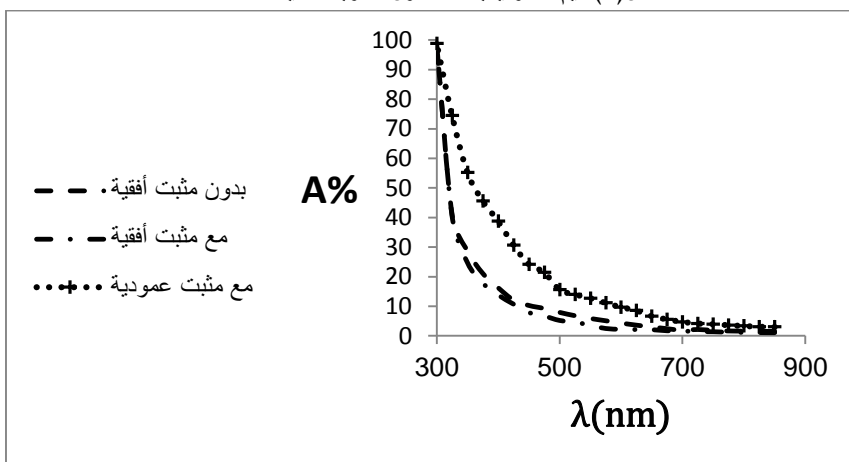
الجدول (3) نتائج الدراسة الضوئية للعينة الثالثة مع مثبت و الركيزة عمودية.

| λ (nm) | T % | A % | R % | α (cm ⁻¹) | h ν (ev) | (ohv) ² | (ohv) ^{3/2} | (ohv) ^{1/2} | k0 | n0 | ϵ_1 | ϵ_2 |
|----------------|--------|---------|----------|------------------------------|--------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------|-----------|--------------|--------------|
| 850 | 93.225 | 3.047 | 3.7282 | 7015.4 | 1.4603 | 1.05E-08 | 5.38E+11 | 5.12E+03 | 4.75E-02 | 1.16E+00 | 1.34E+00 | 2.20E-01 |
| 825 | 93.113 | 3.089 | 3.7880 | 7135.6 | 1.5045 | 1.15E-08 | 6.19E+11 | 5.37E+03 | 4.88E-02 | 1.16E+00 | 1.34E+00 | 2.17E-01 |
| 800 | 92.552 | 3.361 | 4.0866 | 7740 | 1.5516 | 1.4E-08 | 8.66E+11 | 6.00E+03 | 4.93E-02 | 1.17E+00 | 1.37E+00 | 2.31E-01 |
| 775 | 92.002 | 3.620 | 4.3777 | 8335 | 1.6016 | 1.78E-08 | 1.19E+12 | 6.68E+03 | 5.14E-02 | 1.19E+00 | 1.40E+00 | 2.44E-01 |
| 750 | 91.264 | 3.970 | 4.7669 | 9141.4 | 1.6550 | 2.29E-08 | 1.73E+12 | 7.56E+03 | 5.46E-02 | 1.20E+00 | 1.45E+00 | 2.63E-01 |
| 725 | 90.852 | 4.167 | 4.9814 | 9663.8 | 1.7121 | 2.70E-08 | 2.22E+12 | 8.2E+03 | 5.54E-02 | 1.21E+00 | 1.47E+00 | 2.83E-01 |
| 700 | 89.653 | 4.744 | 5.6035 | 10922 | 1.7732 | 3.75E-08 | 3.63E+12 | 9.68E+03 | 6.08E-02 | 1.24E+00 | 1.54E+00 | 3.02E-01 |
| 675 | 87.898 | 5.602 | 6.4999 | 12899 | 1.8389 | 5.63E-08 | 6.67E+12 | 1.19E+04 | 6.93E-02 | 1.29E+00 | 1.65E+00 | 3.58E-01 |
| 650 | 85.77 | 6.666 | 7.5635 | 15350 | 1.9096 | 8.59E-08 | 1.28E+13 | 1.47E+04 | 7.94E-02 | 1.34E+00 | 1.78E+00 | 4.25E-01 |
| 625 | 82.128 | 8.551 | 9.3211 | 19659 | 1.9860 | 1.53E-09 | 2.99E+13 | 1.96E+04 | 9.79E-02 | 1.43E+00 | 2.03E+00 | 5.59E-01 |
| 600 | 78.978 | 9.703 | 10.3191 | 22342 | 2.0688 | 2.1E-09 | 4.94E+13 | 2.31E+04 | 1.07E-01 | 1.48E+00 | 2.18E+00 | 6.32E-01 |
| 575 | 77.349 | 11.155 | 11.4965 | 25684 | 2.1587 | 3.07E-08 | 8.52E+13 | 2.77E+04 | 1.18E-01 | 1.55E+00 | 2.38E+00 | 7.27E-01 |
| 550 | 74.566 | 12.746 | 12.6881 | 29349 | 2.2568 | 4.39E-08 | 1.45E+14 | 3.31E+04 | 1.28E-01 | 1.62E+00 | 2.59E+00 | 8.30E-01 |
| 525 | 72.436 | 14.003 | 13.5586 | 32244 | 2.3643 | 5.61E-09 | 2.22E+14 | 3.8E+04 | 1.35E-01 | 1.67E+00 | 2.76E+00 | 9.99E-01 |
| 500 | 68.829 | 15.596 | 14.6746 | 35912 | 2.4825 | 7.95E-08 | 3.54E+14 | 4.46E+04 | 1.43E-01 | 1.73E+00 | 2.97E+00 | 9.89E-01 |
| 475 | 60.984 | 21.478 | 17.5376 | 49456 | 2.6132 | 1.67E-10 | 1.08E+15 | 6.46E+04 | 1.87E-01 | 1.92E+00 | 3.67E+00 | 1.44E+00 |
| 450 | 57.279 | 24.200 | 18.5205 | 55724 | 2.7583 | 2.36E-10 | 1.82E+15 | 7.39E+04 | 2.00E-01 | 1.99E+00 | 3.93E+00 | 1.59E+00 |
| 425 | 48.346 | 30.675 | 19.8792 | 70631 | 2.9206 | 4.26E-10 | 4.39E+15 | 1.03E+05 | 2.39E-01 | 2.09E+00 | 4.33E+00 | 2.00E+00 |
| 400 | 40.947 | 38.778 | 20.2752 | 89289 | 3.1031 | 7.68E-10 | 1.06E+16 | 1.39E+05 | 2.84E-01 | 2.11E+00 | 4.36E+00 | 2.39E+00 |
| 375 | 34.885 | 45.612 | 18.4032 | 105025 | 3.3100 | 1.21E-11 | 2.10E+16 | 1.74E+05 | 3.13E-01 | 2.03E+00 | 4.02E+00 | 2.54E+00 |
| 350 | 28.033 | 55.233 | 16.7340 | 12779 | 3.5464 | 2.03E-11 | 4.59E+16 | 2.25E+05 | 3.54E-01 | 1.82E+00 | 3.19E+00 | 2.58E+00 |
| 325 | 17.983 | 74.514 | 7.5032 | 171574 | 3.8192 | 4.29E-11 | 1.41E+17 | 3.28E+05 | 4.44E-01 | 1.24E+00 | 1.34E+00 | 2.20E+00 |
| 300 | 5.909 | 122.849 | -28.7576 | 282869 | 4.1375 | 1.37E-12 | 8.02E+17 | 5.85E+05 | 6.75E-01 | -2.16E-02 | -4.56E-01 | -5.84E-02 |

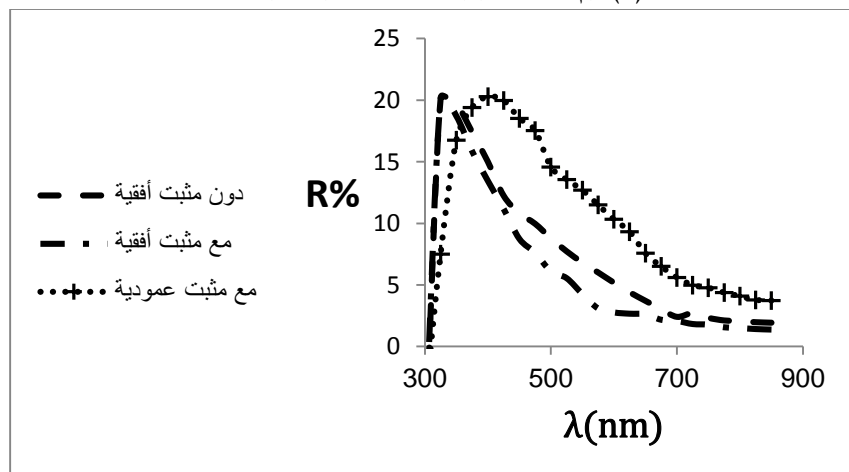
ثم تم رسم الخطوط البيانية لقيم كل من النفاذية T و الامتصاصية A و الانعكاسية R بدلالة طول الموجة λ للعينات الثلاثة المدروسة فكانت على النحو التالي:



الشكل (2) قيم النفاذية بدلالة طول الموجة للعينات الثلاثة



الشكل (3) قيم الامتصاصية بدلالة طول الموجة للعينات الثلاثة



الشكل (4) قيم الانعكاسية بدلالة طول الموجة للعينات الثلاثة

بدراسة الجداول والأشكال الموافقة لها نلاحظ ما يلي:

أولاً: فيما يتعلق بالنفاذية T : من الشكل (2) نجد أنها تزداد بازدياد طول الموجة بشكل عام في العينات الثلاثة، ولكن في العينات العمودية كانت أصغر منها للعينات الأفقية لجميع أطوال المجال الموجي المأخوذ، كذلك فإن قيم T كانت أكبر وبشكل واضح للينة الأفقية التي أضيف لها المثبت من التي لم نضف لها المثبت، لا سيما في المجال

الذي يقع بين الطولين (350–600nm)، و قفزت النفوذية الى قيم عالية وصلت حتى أكبر من (90%) نحو مجال الأشعة تحت الحمراء.

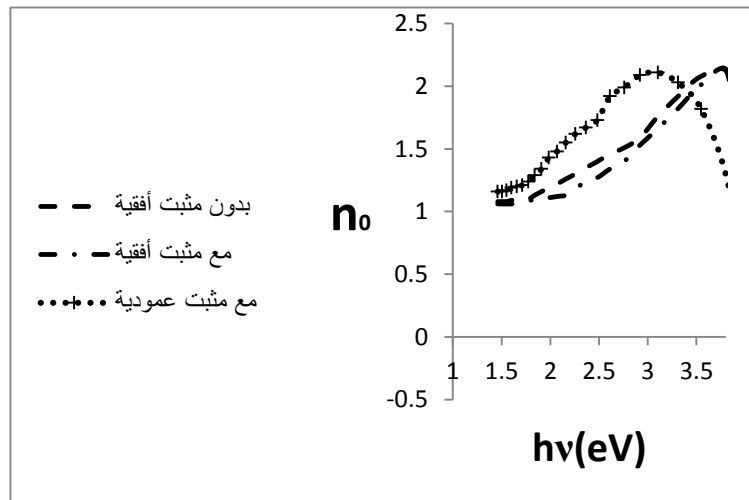
ثانياً: فيما يتعلق بالامتصاصية **A**: من الشكل (3)، نلاحظ أنها بشكل عام تتناقص بازدياد الطول الموجي، كما أن قيم الدراسة للعينات العمودية كانت أكبر منها للعينات الأفقية، بشكل واضح. أما قيم **A** للعينات الأفقية فقد كانت أصغر للعينات الثانية.

ثالثاً: أما بالنسبة للانعكاسية **R**: فإنها بشكل عام تتناقص بازدياد طول الموجة، و كانت قيمها للعينات العمودية أكبر منها للعينات الأفقية بشكل واضح الشكل (4)، ولكن انسحبت القمة من 300nm للعينات الأفقية الى 400nm للعينات العمودية، حيث زادت **R** بشكل سريع و مفاجئ في مجال ضيق جداً ووصلت الى قيمة (20.3%) للعينات الأفقية و العمودية، لأن كل من الانعكاس والامتصاص قد بدأ في العينة الأفقية عند (300nm) قبل العينة العمودية (400nm)، ويعود ذلك للبنية البلورية وفقاً لطريقة الترسيب. كما كانت قيم **R** للعينات الأفقية من مع مثبت أصغر منها للعينات الأفقية بدون مثبت.

عند الطول الموجي (600nm) بلغت النفوذية (79.978%) للعينات العمودية و الامتصاصية (9.703%)، و الانعكاسية (10.319%) لنفس العينة مما يحقق العلاقة الأساسية: $R = 1 - (A + T)$ وعند هذا الطول الموجي نفسه (600nm) للعينات الأفقية مع مثبت بلغت قيمة النفوذية (95.194%) والامتصاصية (2.139%) و الانعكاسية (2.667%) بحيث تتحقق أيضاً العلاقة السابقة.

- إن هذه القيم لكل من النفوذية **T** و الامتصاصية **A** و الانعكاسية **R** قابلة للمقارنة مع القيم الواردة في الدراسات العلمية العالمية السابقة [16].

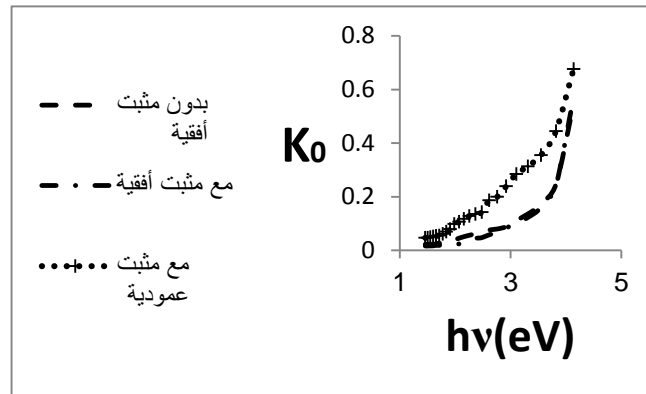
رابعاً: تم حساب معامل التخامد **Ko** بدلالة طاقة الفوتون $h\nu$ ، بتطبيق العلاقة الرياضية لـ **Ko** الواردة في الفقرة (5) من الدراسة الضوئية. يبين الشكل (5) قيم معامل التخامد **Ko** بدلالة طاقة الفوتون $h\nu$ للعينات الثلاثة المدروسة:.



الشكل (5) قيم **Ko** للعينات الثلاثة بدلالة $h\nu$

نلاحظ من هذا الشكل أن قيم معامل التخماد تتزايد بتزايد طاقة الفوتون، كما يتوضح لنا من هذا الشكل أن قيم معامل التخماد K_0 للعينة العمودية تكون أكبر من مثيلاتها عند نفس قيم الطاقة للعينات الأفقية دوماً، وذلك بسبب اختلاف تشكل البنية البلورية بين الوضعين الأفقي والعمودي. كما نجد أن قيم معامل التخماد تكون متطابقة تقريباً في العينتين الأفقيتين، وهذا يدل على أن المثبت لم يكن له دور فعال بما فيه الكفاية في قيم معامل التخماد.

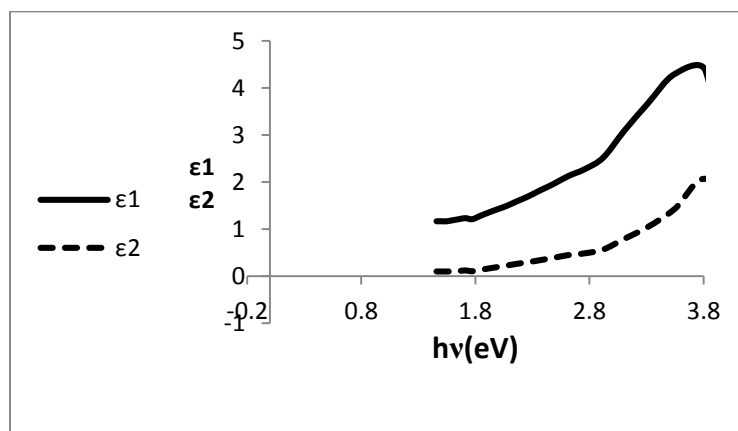
خامساً: تم حساب **no** قرينة انكسار الفيليم الرقيق (SnO_2) وفقاً للعلاقة الواردة في (6) من الدراسة الضوئية، و يوضح الشكل (6) قيم قرينة الانكسار للعينات الثلاثة المدروسة بدلالة طاقة الفوتونات الساقطة..



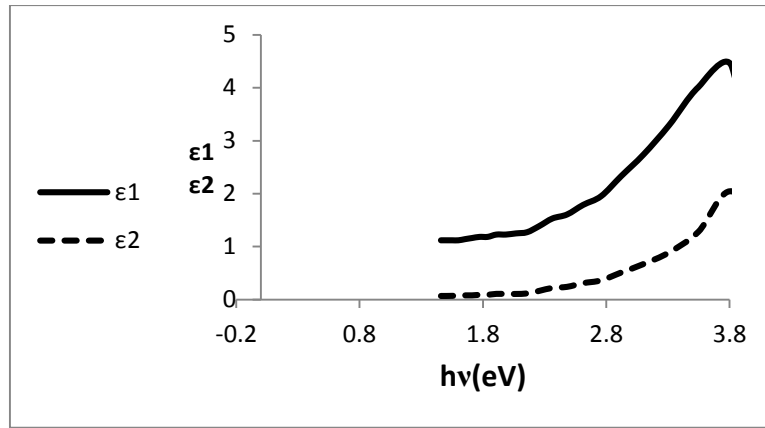
الشكل (6) قيم قرينة الانكسار n_0 للعينات الثلاثة بدلالة $h\nu$

حيث يبين هذا الشكل أن قيم n_0 للعينة العمودية أكبر من قيمها للعينات الأفقية، و تتراوح قيمها بين 1.62 و 2.09، وهي قيمة قرينة الانكسار لفيليم أكسيد القصدير الوسطية (1.85)، وهذا يتطابق بتقريب جيد ، مع القيم المحسوبة في الأعمال العلمية العالمية السابقة [17] و الذي كانت قيمته فيه 1.80.

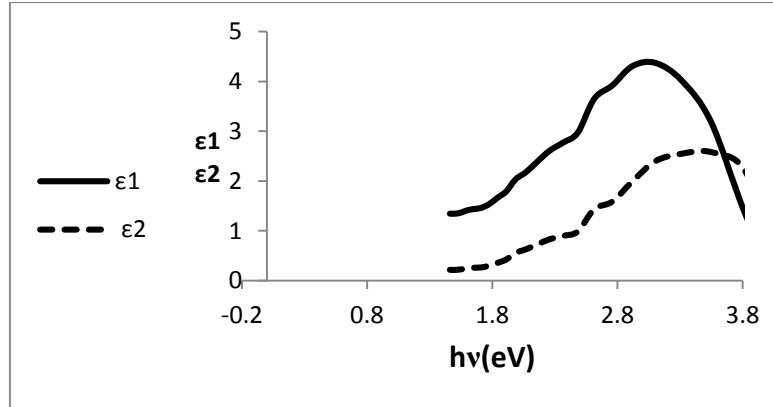
سادساً: تم حساب ثابت العزل الكهربائي ϵ بجزأيه الحقيقي و التخيلي لفيليم الرقيق من أكسيد القصدير، و من ثم رسمنا الخط البياني لكل من الجزأين الحقيقي و التخيلي بدلالة طاقة الفوتون $h\nu$ لكل من العينات الثلاث، و نورد النتائج في الأشكال التالية:



الشكل (7) الجزء الحقيقي و الجزء التخيلي لـ (ϵ) لفيليم أكسيد القصدير بدون مثبت و العينة أفقية بدلالة $h\nu$



الشكل (8) الجزء الحقيقي و الجزء التخيلي لـ(ε) لفيلم أكسيد القصدير مع مثبت و العينة أفقية بدلالة hv.



الشكل (9) الجزء الحقيقي و الجزء التخيلي (ε) لفيلم أكسيد القصدير مع مثبت و العينة عمودية بدلالة hv

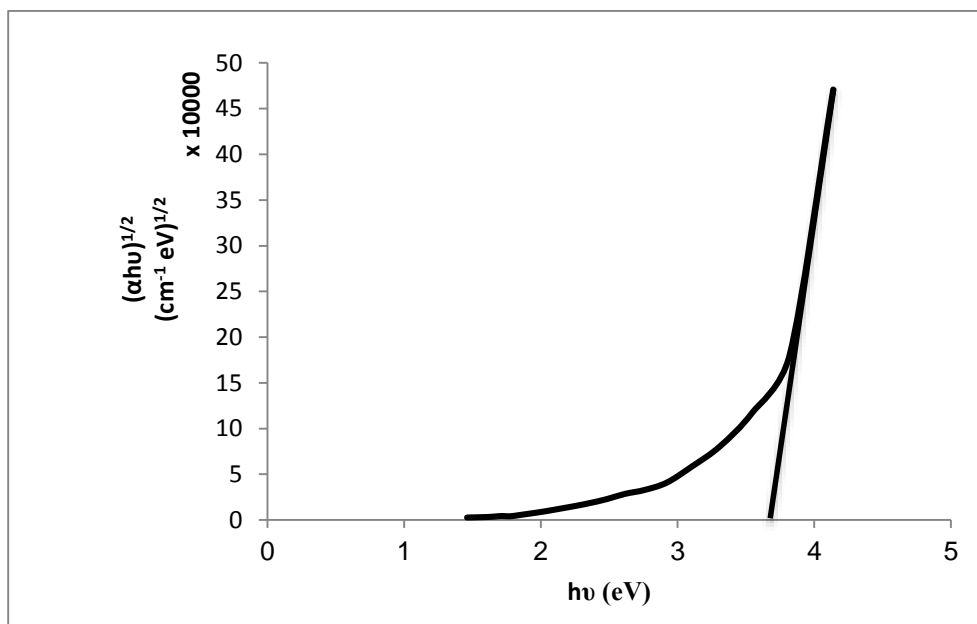
يعود الاختلاف في منحنيات ثابت العزل الكهربائي الحقيقي بين الوضعين الأفقي و العمودي إلى اختلاف قيم قرينة الانكسار بين الوضعين، حيث يوجد تشابه في سلوك قرينة الانكسار مع القسم الحقيقي لثابت العزل الكهربائي. أما بالنسبة للقسم التخيلي من ثابت العزل الكهربائي، فإن الاختلاف في منحنياته بين الوضعين الأفقي و العمودي يعود إلى اختلاف قيم معامل الامتصاص، حيث إن القسم التخيلي من ثابت العزل الكهربائي يعد مقياساً للطاقة المفقودة من الإشعاع الساقط على العينة، فهو يمثل مساهمة حاملات الشحنة داخل ذرات المادة في امتصاص طاقة الإشعاع الضوئي [18].

سادساً: عرض المجال المحظور:

بشكل عام يمكن رسم المنحنيات البيانية الأربعة المناسبة للانتقالات التالية لكل عينة: بحيث يكون $(\alpha h\nu)^2$ بدلالة $(h\nu)$ ليغبر عن الانتقالات المسموحة، و $(\alpha h\nu)^{3/2}$ بدلالة $(h\nu)$ ليغبر عن الانتقالات المباشرة الممنوعة، و $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بدلالة $(h\nu)$ ليغبر عن الانتقالات غير المباشرة المسموحة، و $(\alpha h\nu)^{1/3}$ بدلالة $(h\nu)$ ليغبر عن الانتقالات غير المباشرة الممنوعة. تم اختيار ثلاثة منحنيات، وذلك من أجل لدراسة عرض المجال المحظور للانتقالات الإلكترونية التالية:

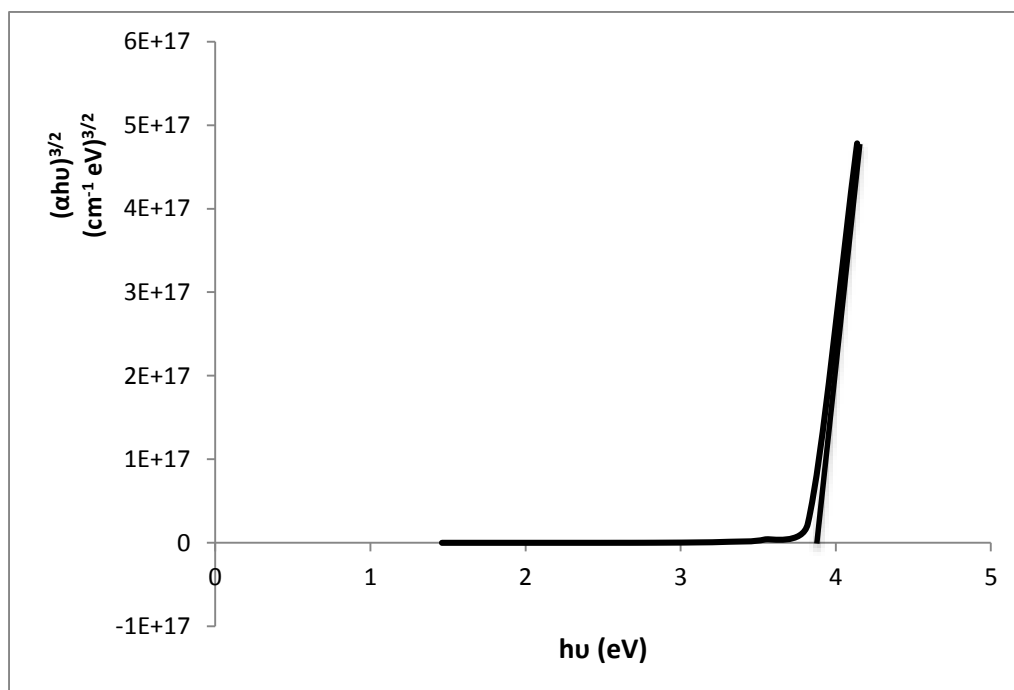
يبين الشكل (9) تغيرات $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بدلالة $(h\nu)$ ليعبر عن الانتقالات غير المباشرة المسموحة في العينة

الأولى:



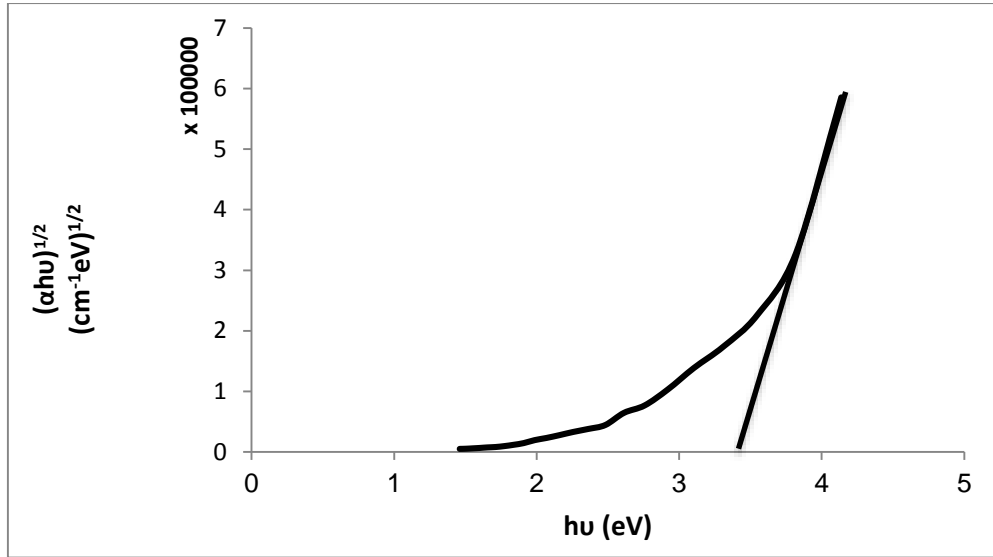
الشكل (10) عرض المجال المحظور للعينة الأولى في الانتقالات غير المباشرة المسموحة

كما يبين الشكل (11) تغيرات $(\alpha h\nu)^{3/2}$ بدلالة $(h\nu)$ ليعبر عن الانتقالات الممنوعة للعينة الثانية:



الشكل (11) عرض المجال المحظور للعينة الثانية في الانتقالات الممنوعة

ويبين الشكل (12) $(\alpha h\nu)^{1/2}$ بدلالة $(h\nu)$ ليعبر عن الانتقالات غير المباشرة المسموحة للعينات الثلاثة:



الشكل (12) عرض المجال المحظور للعينات الثلاثة في الانتقالات غير المباشرة المسموحة

ثم تم حساب عرض المجال المحظور لأوكسيد القصدير في الانتقالات الأربعة المعروفة (الانتقالات المباشرة المسموحة و الممنوعة و الانتقالات غير المباشرة المسموحة و الممنوعة) للعينات الثلاث، بطريقة رسم المماس الوارد شرحها في البند (7) في الدراسة الضوئية، ووضعت النتائج في الجدول التالي:

الجدول (4) مقارنة بين قيم عرض المجال المحظور في كل من الانتقالات المباشرة و غير المباشرة المسموحة و الممنوعة

| عرض المجال المحظور للانتقالات غير المباشرة الممنوعة | عرض المجال المحظور للانتقالات غير المباشرة المسموحة | عرض المجال المحظور للانتقالات المباشرة الممنوعة | عرض المجال المحظور للانتقالات المباشرة المسموحة | |
|---|---|---|---|--------------------------|
| 3.67 eV | 3.70eV | 3.85 eV | 3.80eV | العينات أفقية ومع مثبت |
| 3.70eV | 3.65 eV | 3.83 eV | 3.80eV | العينات أفقية وبدون مثبت |
| 3.50eV | 3.45 eV | 3.80eV | 3.70eV | العينات عمودية ومع مثبت |

بعد تلخيص هذه النتائج ووضعها في الجدول (4) الذي تتوضح فيه المقارنة بين قيم فجوة الطاقة في كل من الانتقالات المباشرة و غير المباشرة بنوعها المسموحة و الممنوعة، نستخلص ما يلي:

- في العينات العمودية انخفضت على نحو ملحوظ قيم فجوة الطاقة لكل الانتقالات المذكورة مقارنة مع العينات الأفقية، و وصلت الى 3.45eV في الانتقالات غير المباشرة المسموحة.

- في العينات الأفقية كانت أصغر قيمة لها في الانتقالات غير المباشرة المسموحة و التي بلغت 3.65eV .

- بلغت أكبر قيمة لفجوة الطاقة لجميع العينات 3.85eV، وكانت للعينات الأفقية مع مثبت.

وهذه النتائج مقارنة مع المراجع، حيث يبين الجدول التالي المقارنة مع النتائج العالمية:

| عرض المجال المحظور للانتقالات غير المباشرة الممنوعة | عرض المجال المحظور للانتقالات غير المباشرة المسموحة | عرض المجال المحظور للانتقالات المباشرة الممنوعة | عرض المجال المحظور للانتقالات المباشرة المسموحة | رقم المرجع |
|---|---|---|---|------------|
| 3.70eV | 3.50eV | 3.60 eV | 3.80 eV | |
| [5] | [5] | [20] | [19] | |

الاستنتاجات و التوصيات:

بإنجاز هذا البحث نصل الى نتائج متعددة، من أهمها:

- 1-توضح لدينا أهمية تقانة الـ (Sol-Gel) في الحصول على أفلام رقيقة بتكلفة بسيطة، ونتائج علمية جيدة بمواصفات عالية الدقة، و قابلة للمقارنة عالميا مع الأفلام المحضرة بتقانات أكثر تعقيداً و بكلفة عالية.
- 2-تم اختيار المحل المناسب و هو (الايثانول)، حيث تبين أنه يعطي أفضل انحلالية للمادة البادئة (SnCl₄).
- 3-اختيار طريقة واضحة لتحضير فيلم رقيق من أكسيد القصدير بدأ من SnCl₄ و هي طريقة الترسيب بالسكب (Flow coating)، و باستخدام محل مناسب هو الايثانول للحصول على ثلاث عينات هي: (عينة يسكب عليها المحلول بدون إضافة مثبت له، و الشريحة أفقية)، و (عينة يسكب عليها المحلول مع إضافة مثبت له، و الشريحة أفقية)، و (عينة يسكب عليها المحلول مع إضافة مثبت له، و الشريحة عمودية).
- 4-وجدنا أن النفوذية عالية لجميع العينات و تتراوح بين (80-92%) ضمن المجال الموجي nm (600-900). وكانت الامتصاصية قليلة، و تراوحت بين (10-20%) لنفس المجال الموجي nm (600-900)، أي أنه لدينا فيلم ذو امتصاصية ضعيفة. وتدل النتائج أن فيلم أكسيد القصدير يكون عالي الامتصاصية فقط في مجال ضيق هو مجال الأشعة فوق البنفسجية.
- 5-للمثبت دي إيثيل أمين دور في تحسين النفوذية للعينات الأفقية، و تحسين الامتصاصية و لو قليلاً للعينة العمودية.

6-بشكل عام أعطت العينة العمودية مقارنة مع العينتين الأفقيتين (الأولى و الثانية) قيمة أقل للنفوذية، و قيمة أعلى للإمتصاصية. وتبين النتائج أن أكبر قيمة لعرض فجوة الطاقة هي (3.85eV) و ذلك في الانتقالات المباشرة الممنوعة، أما أصغر قيمة لعرض فجوة الطاقة هي (3.65eV) و ذلك في الانتقالات غير المباشرة المسموحة. وأبدت العينة العمودية أصغر قيمة لفجوة الطاقة على الإطلاق حيث بلغت (3.45eV) و ذلك في الانتقالات غير المباشرة المسموحة. إلا أن الوضع العمودي أعطى قيمة أقل لعرض فجوة الطاقة للانتقالات الأربعة، و بالتالي قيمة أكبر لقرينة الانكسار، كما لاحظنا علاقة قرينة الانكسار بمعامل التخامد الذي يشكل القسم التخيلي من قرينة الانكسار العقدية، حسب العلاقة:

$$N = n_0 + iK_0$$

إضافة الى ارتباط قرينة الانكسار n_0 بثابت العزل الكهربائي ϵ بجزيائه الحقيقي والتخيلي بالمعادلة :

$$\epsilon = (n_0 - iK_0)^2$$

تعدّ هذه الدراسة المفصلة للانتقالات الالكترونية و حساب عرض المجال المحظور بتقانة الـ (Sol-Gel) وبطريقة الترسيب بالسكب مساهمة في دراسة أفلام رقيقة من SnO₂ مقارنة بدراسات علمية سابقة في هذا المجال.

وعليه نوصي بما يلي:

متابعة دراسة الخواص الضوئية لأفلام رقيقة لأكسيد القصدير باستخدام محلات أخرى ودراسة تأثير الشوائب على هذه الأفلام وتأثير زاوية ميلان الركيزة الزجاجية أثناء السكب، إذ أن دراسة الأفلام الرقيقة يستحق الاهتمام بتقانات مختلفة و ذلك في التطور العلمي الحديث.

المراجع:

- [1] R. G. Gordon, "Criteria for Choosing Transparent Conductors," MRS Bulletin, Vol. 25, pp.52-57. 2000.
- [2] كمال كايد، فوزي عوض، فوزي سيوف. ترسيب أغشية من أكسيد القصدير بواسطة ليزر CO₂ مستمر و توصيفها. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، العدد (19)، العدد الثاني، 2003، 159-174.
- [3] أ.خضير عباس مشجل، محمود موفق عبود، " الخصائص التركيبية و الانتقالات الإلكترونية لأغشية SnO₂ المشوبة بالنحاس Cu و المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري". الجامعة المستنصرية-كلية التربية-قسم الفيزياء، مجلة كلية التربية، العدد الثالث، 2012، 225-237.
- [4] Sung Uk Lee, Jin-Hyo Boo, Byungyou Hong, " Structural, Electrical, and Optical Properties of SnO₂:Sb Films Prepared on Flexible Substrate at Room temperature". Japanese Journal of Applied Physics 50, Suwon, Korea, (2011), 440-746.
- [5] منير الحامض، مالك حسن، وائل أحمد دبل. " تحضير أفلام رقيقة مانعة للانعكاس متعددة الطبقات بتقانة الـ Sol -Gel و دراسة خواصها البنيوية و الضوئية". دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الفيزياء، جامعة حلب، 2007
- [6] منير الحامض، مالك علي، غياث معراتي. تحضير أفلام رقيقة الكرومومية بتقانة الـ Sol-Gel ودراسة خواصها البنيوية والضوئية. دراسة أعدت لنيل درجة الماجستير في الفيزياء، جامعة حلب، 2009.
- [7] Park, J.C., Hwang, S., Kim, M.J., Kim, J.K., Lee, W.Y., Park, J.S., Kim, E.H., Jung, Y., Shim, K., Cho, H. "Anisotropic pattern transfer in SnO₂ thin films for the fabrication of nanostructure-based gas sensors, J. Ceram. Process".Res.. 10(6),2009, 827-831.
- [8] d. M. A. Latif, " optical properties & structural of dioxide thin films prepared by chemical spray pyrolysis". Ibn al- haitham j. For pure & appl, baghdad university. Sci vol.22 (3) 2009.
- [9] Jehan E. Simon, "fabrication and study of sno₂/inp heterojunction solar cell by spray pyrolysis". University of Technology, Iraq, Journal of Al-Nahrain University Vol.11(1), April, 2008, pp.64-67.
- [10] A.A. Ogwu, T.H. Darma, E. Bouquerel, " Electrical resistivity of copper oxide thin films prepared by reactive magnetron sputtering ", Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, volume 24, September 2007.
- [11] Jin Soo An, Sang Cheol Kim, Sung Hong Hahn, Seung Kook Ko "Inuence of Annealing on the Optical and the Electrical Properties of ITO Thin Films Prepared by Using a Sol-Gel Spin Method". Journal of the Korean Physical Society, Vol. 45, No. 6, December 2004, pp. 1629_1634.
- [12] M. Hemissi , H. Amardjia - Adnani , J.C. Plenet , B. Canut, J.M. Pelletier, ' Influence of annealing time on structural and electrical properties of Sb doped SnO₂films' Revue des Energies Renouvelables Vol. 10, 2007, 273 – 279.

- [13]هاجر ناصر،كمال جوني، علاء الدين حسين، " دراسة تجريبية لخلية فوتوالكتروكيميائية بطريقة الترسيب بالحمام الكيميائي " دراسة اعدت لنيل شهادة الماجستير (ضوئية-كيميائية)، جامعة تشرين، كلية الهمك، 2012.
- [14] عدنان ميني، منير الحامض، ماهر غانم. " دراسة الخصائص البنيوية للأفلام الرقيقة النقية و المشابة من أكسيد الزنك ZnO بتقانة المحلول الجيلاتيني Sol-Gel " مجلة بحوث حلب، سلسلة العلوم الأساسية العدد 90، 2013
- [15]منير الحامض، مالك حسن، وائل عبد الله. "تحضير أنصاف نواقل (CuO, ZnO, SnO₂) على الشرائح الزجاجية بتقانة الـ Sol_Gel " مجلة بحوث حلب، سلسلة العلوم الأساسية، العدد رقم 46، 2005.
- [16]Majid M. Shukur, Fadhel M. Hasson, Mosaad M. Ali, " Optical properties of sprayed tin oxide films". The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering, Vol.11, No.1, 2011, pages 152-159.
- [17] فاضل خلف دهش، خضير عباس مشجل، " دراسة تأثير التشويب بالكوبلت Co على الثوابت البصرية لأغشية SnO₂ "، مجلة كلية التربية، قسم الفيزياء، الجامعة المستنصرية، العراق، العدد 1، 2011، 62-73.
- [18]ايناس يوسف، "دراسة الخواص البصرية لغشاء CuAlS₂ الرقيق المشع بليزر الهيليوم-نيون"، مجلة ابن الهيثم للعلوم الصرفة و التطبيقية، العراق، 2010، المجلد 23 (1)، الصفحة 1-11.
- [19] Basim E. Gsgous , Nawroz I. Hassan , Cheman B. Ismaeil, Hayfa G. Rashid, " Structural and Optical Constants of Fe-doped SnO₂ Thin Film " Al-Mustansiriyah University, College of Education, vol. 1, 2012, page 29-40.
- [20] K.A.Mishjil, " The effect of acceptor dopant concentration of (Al⁺³) on optical properties of (SnO₂) transparent conducting thin films". College of Education, Al-Mustansiriyah University, 2005, page 158-177.