ترسيب أغشية من أكسيد القصدير بواسطة ليـزر CO_2 مستمـر وتوصيفها

كمال كايد ، فوزي عوض و فواز سيوف

قسم الفيزياء ـ كلية العلوم – جامعة دمشق

تاريخ الإيداع 2003/03/06
قبل للنشر في 2003/05/15

الملخص

تملك أغشية أكسيد القصدير استخدامات واسعة، وخصوصاً في مجـال النواقـل الـشفافة والخلايـا الشمسية ومستشعرات الغاز والمواد ذات الكهربائية الإجهادية، ويعد الترسيب بواسطة الليزر مـن أهـم الطرائق المتبعة للحصول على هذه الأغشية. قمنا في هذا البحث بتطوير طريقة للحصول علـى أغـشية متجانسة من أكسيد القصدير SnO_2 تعتمد على تبخير أهداف ركامية من هذا الأكسيد بواسطة ليزر CO_2 مستمر منخفض الاستطاعة 70 W في الضغط الجوي العادي مع ترتيب يستخدم مروحة تضمن الحـصول على أغشية متجانسة. وقد تعرضت بعض هذه الأغشية لعمليات تلدين في شروط مختلفة، قمنا بعد ذلك بتوصيف هذه الأغشية ودراسة خصائصها. فقد أظهرت الصور المأخوذة بالمجهر الضوئي وجود درجـة عالية من التجانس وأوضح طيف انعراج الأشعة السينية وجود درجة من التبلـور للحبيبـات البلوريـة تختلف باختلاف التحضير ودرجة حرارة التلدين annealing، حيث وجد أنه يوجد توجه بلوري مفـضل وفق المستوى (110). وقد أعطت نتائج الامتصاصية الضوئية معلومات عن قيمة الثغرة الطاقية الفعالـة E_g للعينات قبل المعالجة الحرارية وبعدها فقد وجد أنه بالنسبة لـبعض الأغـشية تكـون $E_g = 3.2ev$ (انتقالات غير مباشرة) قبل المعالجة، وبعد المعالجـــة تصبـح $E_g = 1.3\ ev$ (انتقالات مباشرة).

أظهرت الأغشية المعرضة لشروط تلدين قاسية عدم تماثـل المنـاحي فـي خصائـصها الـضوئية والكهربائية، وتجلى ذلك من خلال اختلاف الامتصاصية للغشاء نفسه من أجل اتجاهين متعامدين. وظهـر ذلك أيضاً في المقاومة الكهربائية التي يدل سلوكها مع درجة الحرارة إلى وجود خصائص غـير ناقـل بارزة. تتغير قيمة E_b من 0.73ev قبل التلدين إلى 0.37ev من أجل أحد الاتجاهين و0.32ev من أجـل الاتجاه المعامد.

الكلمات المفتاحية: التغشية، الأكاسيد، المطيافية الضوئية، المجهر الضوئي، الأشـعة السينية.

Laser Deposition of SnO_2 Thin Films by Continuous CO_2 Laser and Their Characterizations

K. Kayed, F. Awad, F. Saiof

Department of Physics - Faculty of Sciences- Damascus University

Received 06/03/2003
Accepted 15/05/2003

ABSTRACT

There are wide uses of tin oxide thin films, especially in the field of transparent conductors, solar cells, gas sensors and piezoelectric materials. Laser deposition is considered one of the most important techniques followed to obtain these films. In this research, we develop a technique to obtain homogeneous thin films of tin oxide depending on vaporization of pile targets of this oxide by continuous CO_2 laser in the atmosphere, with a fan which guarantees obtaining homogenous films. Some of these films were annealed in different conditions. The optical microscope images revealed the presence of high degree of homogeneity, while the X-Ray study showed different crystallization grain orientations which depend on the preparation conditions. The preferred direction is (110). The optical absorption gives information about the value of the effective band gal for the samples before and after thermal annealing. We have found that some films have E_g = 3.2 ev. before annealing, and after long annealing they have E_g=1.3ev. In addition, the hard annealed thin films reveal anisotropy in the optical and electrical. Characteristics, they have different absorption coefficients in two perpendicular directions, also there is an electrical resistance anisotropy along these two directions especially after hard annealing. The E_b was 0.73 ev before annealing, it became 0.37 ev for one direction and 0.32 ev for the other direction.

words: Coating, Oxides, Spectrophotometry, Microscope, X-ray.

المقـدمـة

تعد عمليات التبخير والترسيب بواسطة الليزر من أهم الطرائـق المتبعـة لتحـضير الأغشية الرقيقة [1,2,3]. وإن المفهوم الواسع لعمليات التبخير بواسطة الليزر يشمل حتى تلك العمليات التي تتم في الجو المفتوح [4]. وهناك العديد من الدراسات التي تناولت هذه العملية [4]، إضافةً إلى إمكانية التأثير في شكل البخار الناتج عن التبخير واتجاهـه وقـد وجهنا اهتمامنا في هذا البحث نحو تبخير أغشية من أكسيد القصدير وترسيبها لما لهـذا الأكسيد من أهمية بالغة في مجال الخلايا الشمسية والنواقل الشفافة والمواد ذات الكهربائية الإجهادية [5] إضافةً إلى استخدامه في مجال مستشعرات الغاز [7,6]. يتـضمن هـذا البحث وصفاً لتقانة تبخير أكسيد القصدير وترسيبه من الشكل الركامي باستخدام ليـزر CO_2مستمر ذي استطاعة منخفضة وحزمة واسعة، مما يضمن عدم تشكل البلازما، ومن ثم عدم تفكك جزئيات الأكسيد المتبخرة وتفاعلها مع الجو المحيط. ففـي حالـة التبخيـر بليزرات الطاقة العالية [4] يحتوي البخار الناتج على العديد من المكونات مثـل الـذرات والجزئيات المعتدلة والمتأينة والرذاذ المتطاير .....الخ وإن التبخير بليزر منخفض الطاقة يؤدي إلى الحصول على نوع واحد من الأصناف السابقة وهو بخار مادة الهدف .

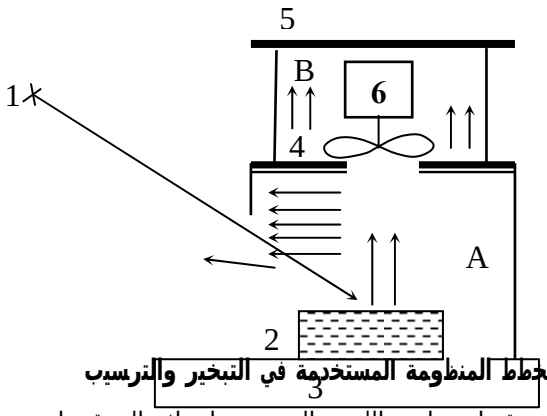
يتم تحسين البنية البلورية للأغشية الحبيبية الناتجة عن التبخير بالمعالجـة الحراريـة اللاحقة.

العمل التجريبي

إن أكسيد القصدير عبارة عن نصف ناقل ذي ثغرة طاقة عريضة وهو يملـك بنيـة الروتيل Rutile الرباعية الكتلة الحجمية لأكسيد القصدير قرابـة $6.85gr/cm^3$ ودرجـة حرارة انصهاره 16309 ويملك قرائن انكسار $n_\beta = 2.097$، $n_\alpha = 2.006$

قمنا بإجراء عمليات تبخير لأهداف من أكسيد القصدير SnO2 بواسطة ليـزر CO2 منخفض الاستطاعة (استطاعة الخرج العظمى7OW) يصدر حزمة قطرها قرابة 2mm. مررت الأبخرة الناتجة على مروحة يمكن التحكم بسرعة دورانها موضوعة فوق الهـدف لتترسب على ركازة عبارة عن زوج من الشرائح الزجاجية تغطي الفتحة العلوية لمنظومة التبخير بشكل متناظر. تملك كل شريحة الأبعـاد الآتيـة: الطـول: 75mm، العـرض: 25mm، الثخانة: 1.05mm.

يمثل الشكل (1) مخططاً توضيحياً لمنظومة التبخير وتظهر فيه آلية التبخير والترسيب.



1. منبع الليزر.
2. الهدف.
3. قاعدة معدنية.
4. مروحة.
5. الركازة.
6. المحرك.

الشكل (1) مخطط المنظومة المستخدمة في التبخير والترسيب

قبل إجراء عمليات التبخير قمنا بمعايرة الليزر المستخدم إضافة إلى قياس سرعات المروحة بطريقة الوماض، وقد قمنا بتنظيف الركائز قبل الترسيب عليها بغية إزالة الشوائب والدهون عن سطحها (تمت عمليات التنظيف بواسطة منديل قماشية مبللة بالكحول). وتمت جميع عمليات التبخير من دون تسخين الركازات، وقمنا تحت الضغط الجوي العادي باختبار قيم مختلفة لكل من بعد الركازة عن الهدف وبعد الهدف عن المروحة ووجدنا أن القيم الأكثر مناسبةً هي:

X_1 =79mm (المسافة بين سطح الهدف والركازة)

X_2 =38mm (المسافة بين سطح الهدف والمروحة)

كذلك قمنا باختيار وسطاء التبخير الأساسية مثل: استطاعة حزمة الليزر (P) وزمن التبخير (t) وسرعة دوران المروحة (v).

بعد الانتهاء من عملية التحضير اختبرت جودة الأغشية من حيث تجانسها وبنيتها الحبيبية بواسطة المجهر الضوئي الانعكاسي (نوع Leybold) سواء قبل التلدين الحراري الذي أخضعت له قبل التحضير أو بعده. وقد تمت المعالجة الحرارية في فرن أتوماتيكي محكم تحت الضغط الجوي وعند درجات حرارة وأزمنة متنوعة.

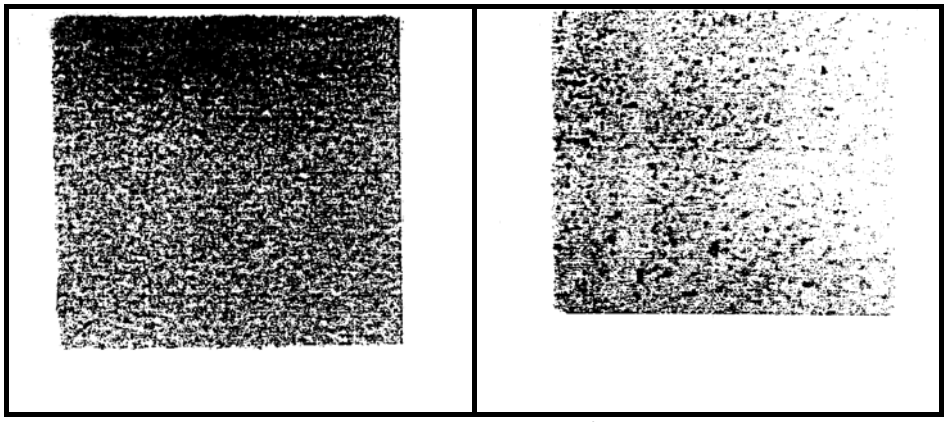
قيست الامتصاصية الضوئية والنفاذية الضوئية باستعمال مقياس طيفي ضوئي (/Tu-1221/uv-vis.spectro photo meter). أما تحديد البنية البلورية فقد تم بواسطة مقياس انعراج الأشعة السينية. (Philips compactdift t-roy ractometer system PW1840) وقد قمنا باختبار منظومة التبخير السابقة على مجموعة من الأكاسيد (مثل أكسيد الزنك وأكسيد الألمنيوم) إضافةً إلى إجراء بعض عمليات التبخير في أجواء من الأكسجين والآزوت لمقارنتها مع الأغشية المحضرة.

النتائج والمناقشة

1. وصف الأغشية المحضرة:

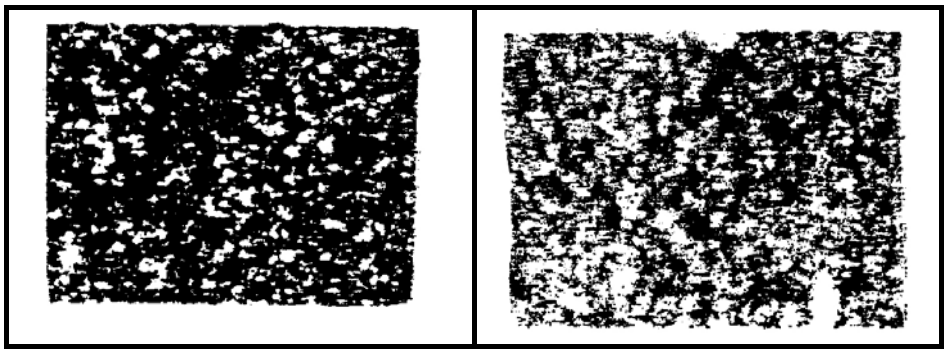
يملك كل غشاء شكل نصف حلقة على كل شريحة زجاجية (نصف قطرها الكبير 23mm والصغير 5mm) وتتميز الأغشية الناتجة بتجانسها وانخفاض كثافتها وشفافيتها.وقد استنتج التجانس من خلال عدم الحاجة إلى تغيير وضعية لولب الإحكام على مساحة واسعة عند فحص الغشاء بواسطة المجهر الضوئي ومن خلال تماثل منحنيات الامتصاصية المأخوذة في أماكن مختلفة من الغشاء، هذه الأغشية لا تختلف عن تلك المحضرة في جو من الأكسجين أو الآزوت، وتتميز الأغشية المحضرة بتزايد سماكتها ابتداء من مركز الحلقة حتى الوصول إلى منطقة تساوي السماكة (المنطقة المتجانسة)، وقد أظهرت الأغشية المحضرة دون وجود المروحة عدم تجانس واضح.

يبين الشكل (2) صوراً مجهرية (مكبرة 100 مرة) لسطح أحد الأغشية تظهر الأولى (1) المنطقة المتدرجة والثانية (2) المنطقة المتجانسة.



الشكل (2) صور مجهرية لسطح أحد الأغشية المحضرة تظهر المنطقة المتدرجة والمتجانسة

كما يظهر الشكل (3) البنية السطحية لأحد الأغشية المحضرة دون وجود مروحة إن اختلاف الصور المأخوذة للغشاء نفسه من مناطق مختلفة تظهر عدم التجانس

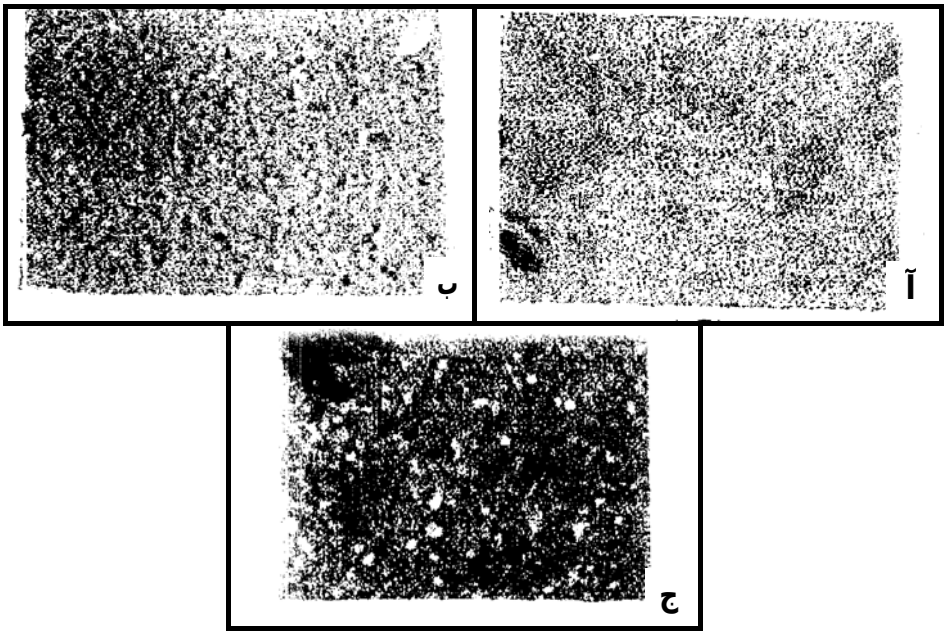


الشكل (3) صور مجهرية (مكبرة 900 مرة)

في حالة الشكل (2) استخدمنا نسبة تكبير مختلفة عن تلك المـأخوذة فـي الـشكل(3) بسبب انخفاض الكثافة للأغشية المدروسة في هذه الحالة.

2.دراسة البنية المجهرية :

يبين الشكل (4) ثلاث صور مجهرية (مكبرة 500 مرة) لسطوح ثلاثة أغشية محضرة في الشروط نفسها، أحدها غير ملدن، والآخران مختلفان بشروط التلدين الحراري.

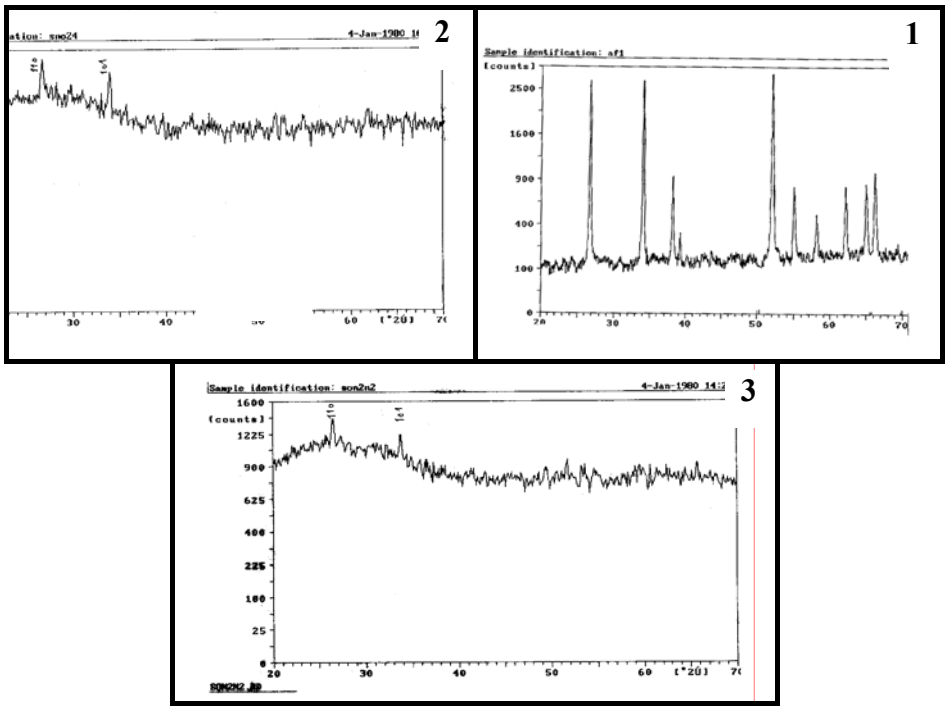


الشكل (4) آ. غشاء غير معالج حرارياً، ب. غشاء معرض لتلدين حراري عند الدرجة 550C لمـدة ساعتين مع تبريد بطيء، ج. غشاء معرض لتليين حراري عند الدرجة 550C لمدة 24 ساعة.

تدل هذه الصور على أن المعالجة الحرارية تؤدي إلى ظهور حبيبات ذات حجم أكبـر وأن شروط المعالجة الحرارية تؤثر في حجم هذه الحبيبات كما تظهر الـصور المنـاطق الحدودية بين الحبيبات البلورية.

3. دراسة البنية البلورية:

يبين الشكل(5) مخططات انعراج الأشعة الـسينية (1) مـسحوق **SnO2** (2) غـشاء **SnO2** (3) غشاء **SnO2** معرضاً لعملية تلدين حراري عند الدرجـة 550C° لمـدة 24 ساعة.



الشكل (5) مخططات انعراج الأشعة السينية لمسحوق SnO_2 ولغشاء ملدن وآخر غير ملدن

من الشكل السابق نلاحظ اختفاء بعض التوجهات الخاصة بالمسحوق من مخططـات الأغشية إن المعالجة الحرارية تعزز التبلور وفق المستوي 110 بـشكل ضـئيل حيـث وجدنا من أجل العينة غير الملبدة أن نسب الشدات النسبية للتوجهين الرئيسين هي:

$$\frac{I(110)}{I(101)} = 1.058$$

وأما بالنسبة للعينة الملبدة:

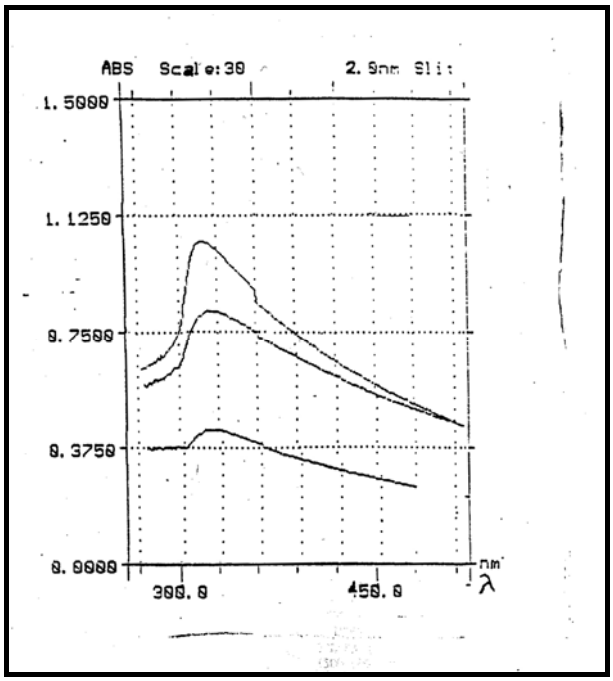
$$\frac{I(110)}{I(101)} = 1.070$$

فهذا السلوك يتفق مع نتائج دراسات سابقة [9,8,8].

4. الخصائص الضوئية:

قمنا بدراسة الخصائص الضوئية للأغشية (الامتصاصية والنفوذية للأغشية المحضرة وذلك في المجال المرئي من الطيف.

وكما هو متوقع تظهر الطيوف ازدياداً في الامتصاصية مع زيادة استطاعة الليـزر أو زمن التبخير ونقصاناً مع زيادة سرعة المروحة، وهذا يتفق مع اختلاف الـسماكة. أمـا الشكل العام لطيوف الامتصاص فهي متشابهة كما هو واضح في الشكل (6)، والذي يبين طيوف الامتصاص لأغشية محضرة في شروط مختلفة (تتضمن هذه الشروط أزمنة تبخير واستطاعات حزمة مختلفة).

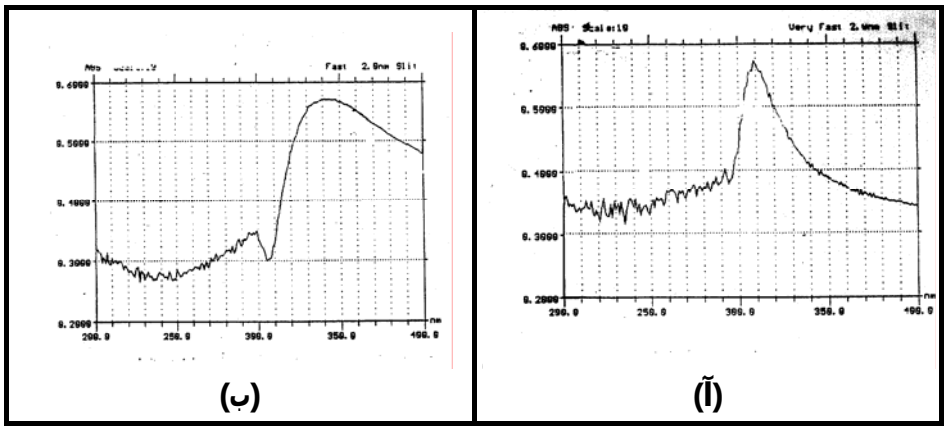


الشكل (6) طيوف الامتصاص الموافقة لأغشية محضرة في شروط مختلفة

إن قيم λ الموافقة لقمم الشكل (6) (من الأعلى إلى الأسفل) هي:

$\lambda_1 = 306.7nm$، $\lambda_2 = 308.3\ nm$, $\lambda_3 = 307.5nm$ تم تسجيل الطيوف الضوئية بعد حذف الطيف العائد للركازة الزجاجية وقد وجهنا دراستنا باتجاه المنطقة المرئية من الطيف نظراً للتشويش الناتج عن امتصاص الزجاج للأشعة الضوئية في المنطقة فوق البنفسجية.

غير أن هذا الشكل العام قد تغير تغيراً ملحوظاً بمقارنته ما قبل التلدين وبعده الشكل (7).



(ب) (آ)

الشكل (7)

أ . طيف الامتصاصية قبل المعالجة الحرارية

ب. طيف الامتصاصية بعد المعالجة الحرارية (تلبين عند الدرجة 550^oC لمدة 24 ساعة)

إن قيم λ الموافقة لقمم الشكل (7) هي:

(1) الشكل (آ) : $\lambda_1 = 308.3nm$ (2) الشكل (ب): $\lambda_2 = 340.0nm$

أدى التلدين الحراري إلى انزياح في قمة الامتصاصية نحو الأطوال الموجبة الأعلى كما أدى إلى ارتفاع الامتصاصية على كامل الطيف المرئي، بدوره يصبح تغير الامتصاصية في المجال المرئي أبطأ مقارنة مع حالة الغشاء غير المعالج حرارياً. واعتماداً على الأطياف الضوئية التي حصلنا عليها قمنا بتحديد نوع طاقة المجال المحظور* وقيمته، وذلك وفق الطريقة [1] التي تعتمد على دراسة تحولات معامل الامتصاص (a) بدلالة التواتر (v) ومواءمة النتائج التي يتم الحصول عليها مع العلاقة :

$$a = B\,(h\nu - Eg)^n \qquad (1)$$

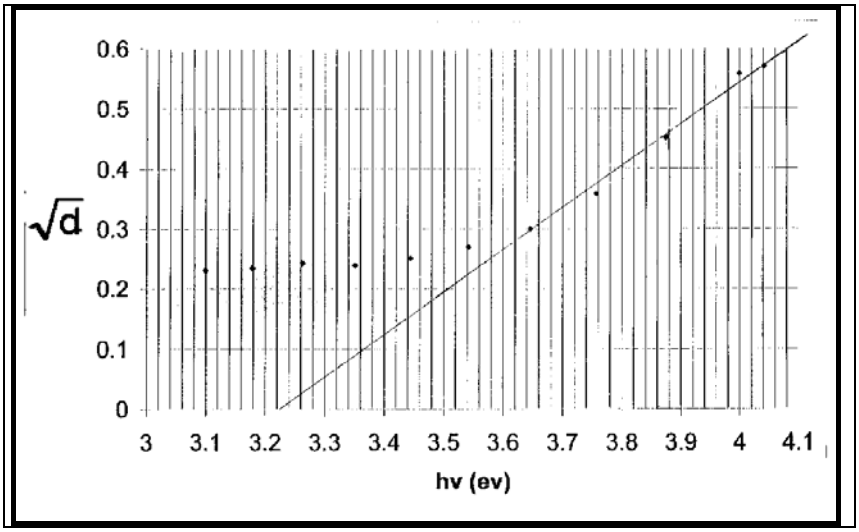
حيث B ثابت وأما قيمة n فتساوي $\frac{1}{2}$ في حالة طاقة المجال المحظور المباشرة و 2 في حالة طاقة المجال المحظور غير المباشر. انطلاقاً من العلاقة (1) وباستخدام معالجة رياضية بسيطة يمكن اشتقاق العلاقات الآتية:

* أينما ورد مصطلح طاقة المجال المحظور يكون المقصود طاقة المجال المحظور الفعالة التي تختلف عن القيمة الحقيقية وذلك لأن القيم المحسوبة تتضمن تأثيرات بعض العوامل مثل ثخانة الغشاء.

$$d^2 = X^2B^2(h\nu - E_g) \qquad (2)$$ في حالة المجال المحظور المباشر.

$$\sqrt{d} = \sqrt{XB}(h\nu - E_g) \qquad (3)$$ في حالة المجال المحظور غير المباشر.

حيث: d الامتصاصية، و X الثخانة.



الشكل (8)

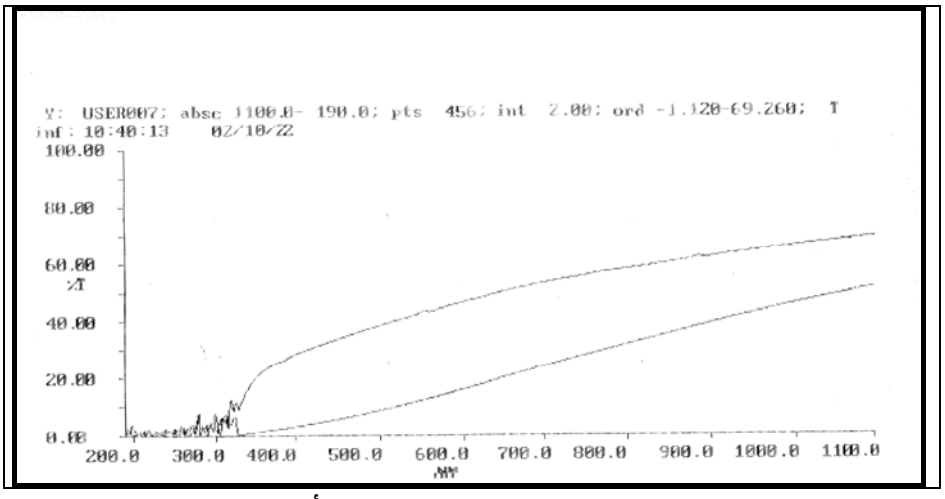
قمنا بدراسة تحولات كل من $\sqrt{d}, d^2$ بدلالة hν بيانياً وقد اعتمدنا من أجل تحديد ثوابت العلاقات السابقة على طريقة أصغر المربعات دون الحاجة إلى معرفة قيمة X واستخدمنا ما يعرف بمعامل الترابط الخطي r من أجل بيان مدى خطية العلاقات السابقة (يملك r قيماً تتراوح ما بين +1 و -1 وتكون الخطية عالية إذا كان $r = \pm 1$ وكلما ابتعدنا عن هذه القيمة تصبح الخطية ضعيفة) يمثل الشكل (8) تحولات $\sqrt{d}$ بدلالة hν من أجل أحد الأغشية قبل التلدين.

وقد وجدنا أن قيمة طاقة المجال المحظور لهذا الغشاء تبلغ من أجل الانتقالات غير المباشرة $E_g = (3.2 \pm 0.2)$ ev إن قيمة E_g** تختلف باختلاف سمك الغشاء وتتأثر بالتلدين الحراري فمن أجل أحد الأغشية المعالج حرارياً عند الدرجة 500C° ولمدة

** إن المقارنة بين قيم E_g تتم للعينات المعالجة حرارياً بسبب امتلاكها E_g مباشرةً أما عند المقارنة بين قيم الغشاء ما بين قبل التلدين وبعده فيجب ملاحظة اختلاف نوع E_g

ساعتين حصلنا على طاقة مجال محظور لانتقالات غير مباشرة قيمتهـا ev (0.2 ± 2.6)، أما من أجل عينة معالجة حرارياً عند الدرجة 550C° ولمدة 24 ساعة فقد وجدنا أن طاقة المجال المحظور لانتقالات مباشرة) ev 0.1 ± 1.3 . رغم تفاوت قيم E_g التـي حـصلنا عليها وتغيرها بتغير سماكة وطريقة التحضير والمعالجة إلا أنها تبقى قريبة من القيم التي تعطيها بعض المراجع [8, 9]، التي تعطي قيماً تتراوح بين (ev 3.5-4) لطاقـة المجـال المحظور للانتقالات غير المباشرة للأغشية غير المعالجة حراريـاً. أظهـرت العينـات المعرضة لشروط تلادين قاسية (550Cº لمدة 24 ساعة) عدم تماثل مناخ واضح في طيف النفوذية الشكل (9) وهذا يغير قيمة طاقة المجال المحظور إلى E_g = (0.30 ± 0.02)ev، وذلك من أجل وضع عمودي للغشاء بالنسبة للوضع السابق (حصلنا على هذين الوضعين عن طريق وضع الشريحة في مقياس الطيف طولياً ثم عرضياً)، نلاحظ من الـشكل (9) اختلاف معدل تغير النفوذية بتغير الطول الموجي ما بين الحالتين رغـم أنهمـا تعـودان لانتقالات مباشرة.

من المتوقع أن تكون الحزمة الضوئية في مقياس الطيف مستقطبة جزئياً. عندها يكون التغير في طيف النفوذية أو الامتصاصية ناتجاً عن التغير في التفاعل مـا بـين الحزمـة والعينة في وضعين متعامدين مما يشير إلى وجود اتجاه مفضل للحبيبات ويمكن ربط ذلك مع حقيقة أن النظامية الكيميائية السطحية من أجل المستوى SnO2(110) تتـأثر تـأثيراً كبيراً بطريقة التحضير [7,5] وإن ضعف ارتباط أيونات الأكسجين بالسطح يـؤدي إلـى ظهور بنى مختلفة [5].



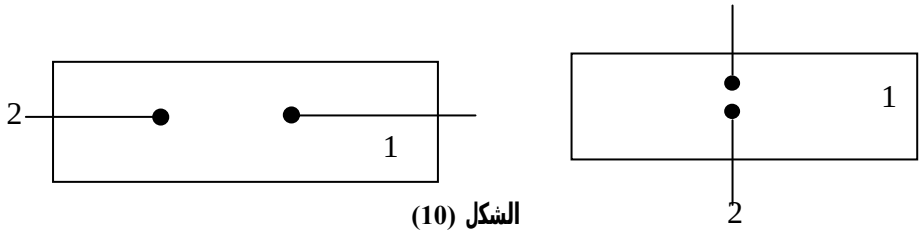
الشكل (9) طيف نفوذية العينة المعالجة حرارياً من أجل وضعين متعامدين

5.الخصائص الكهربائية

لنتأكد من ظاهرة عدم تماثل المناحي هذه قمنا بدراسة تغير الناقلية الكهربائية للأغشية المحضرة بدلالة درجة الحرارة في مجال درجات الحرارة المنخفضة نسبياً وذلـك لأحـد الأغشية غير المعالج حرارياً ولغشاء معالج حرارياً عند الدرجة 500 C^{o} ولمدة 24 ساعة وذلك من أجل اتجاهين متعامدين.

ومن أجل حذف أي تأثير للأبعاد قمنا بقياس الناقلية الكهربائية النسبية (النـسبة بـين الناقلية الكهربائية σ للغشاء في الدرجة T والناقلية الكهربائية في الدرجة صفر مئويةσ_0).

من أجل قياس المقاومة الأومية قمنا بتزويد الغشاء بمادة من معدن الفضة كمـا هـو موضح بالشكل (10) الذي يوضح كيفية القياس في اتجاهين متعامدين:



الشكل (10)

(1) العينة (الشريحة الزجاجية وعليها الغشاء)

(2) مسرى من الفضة

نبين في الجدول (1) النتائج التي حصلنا عليها.

الجدول (1)

	غير مادنة / طولي	غير مادنة / عرضي	مادنة / طولي	مادنة / عرضي
T(k)	σ/σ_0	σ/σ_0	σ/σ_0	σ/σ_0
293	3.0285	3.0167	1.7100	1.5533
313	6.5574	6.5317	2.4987	2.5189
333	18.5529	18.4781	4.5893	3.8775
353	35.5872	35.4482	6.6050	4.2772
373	62.5000	61.7964	7.4516	6.7385

إن اختلاف الناقلية الكهربائية وفق الاتجاهين المذكورين كما هو واضح في الجـدول السابق يدل على أن التبلور تم وفق اتجاهات مفضلة. كما أن السلوك مع درجة الحـرارة يدل على أن الأغشية تسلك سلوك نصف ناقل.

تعطى الناقلية الكهربائية بعلاقة من الشكل: $$\sigma = f(T)\exp\left(\frac{-E}{2kt}\right)$$

حيث: f(T) تابع لدرجة الحرارة.

تختلف قيمة E باختلاف نوع نصف الناقل وتركيز حوامل الـشحنة وآليـة حركتهـا وتكون عبارة عن طاقة التأيين في مجال درجات الحرارة المنخفضة نسبياً وطاقة المجال المحظور (ثغرة الطاقة) في مجال درجات الحرارة المرتفعة.

استنتجت قيم الطاقة E اعتماداً على دراسة تغيرات $\ln \sigma$ بدلالة $\frac{1}{T}$ بيانيـاً ويعطـي الحساب القيم الآتية لـ E

من أجل العينة غير الملبدة وفي الاتجاهين المتعامدين $E_b = (073 \pm 0.05)\ ev$

من أجل العينة المعرضة لشروط تلدين قاسية (طولي) $E_b = (0.37 \pm 0.03)\ ev$

من أجل العينة المعرضة لشروط تلدين قاسية (عرضي) $E_b = (0.32 \pm 0.02) ev$

توافق النسب بين هذه الطاقات النسب بين قيم Eg التي حصلنا عليهـا عنـد دراسـة الخصائص الضوئية.

ملاحظة: المقصود بالتأيين هو التأيين الداخلي عندما تنتقل حالة حوامل الـشحنة مـن حالتها الدنيا إلى عصابة النقل وهي توافق طاقة سوية الـشائبة فـي حـال الإشابة.

الخاتمة

تمكنا عن طريق تبخير مسحوق أكسيد القصدير بواسطة ليزر CO2 مستمر منخفض الطاقة ترسيب البخار الناتج على شرائح من الزجاج العادي و الحـصول علـى أغـشية شفافة ومتجانسة ومنخفضة الكثافة من هذا الأكسيد، ووجدنا أن المعالجة الحرارية الشديدة للأغشية الناتجة تؤدي إلى تعزيز التوجهات البلورية وفق المستوى 110، كما تؤدي إلـى تغير نوع ثغرة الطاقة وقيمتها. وقمنا بإثبات عدم تماثل التناحي ضوئياً وكهربائياً.

إن التقانة التي اتبعناها من أجل الحصول على أغشية أكسيد القصدير تملـك أهميـة تطبيقية في مجال النواقل الفائقة والخلايا الشمسية والحـساسات الـضوئية والمـواد ذات الكهربائية الإجهادية ويمكن تعميم هذه الطريقة من أجل الحصول على أغشية مادنة مـن أكاسيد معدنية متنوعة أو على أغشية مكونة من مزيج من أكسيدين أو أكثر.

كلمة شكر

حضرت العينات في مركز أبحاث الليزر الذي أصبح فيما بعد المعهد العالي لبحوث الليزر وتطبيقاتـه، كما أجريت القياسات الضوئية فيه بإشراف د. فواز سيوف. أما مخططات انعراج الأشعة السينية فتمت في جامعة البعث قسم الفيزياء والشكر للدكتور زكريا ظلام والدكتور ناصر سعد الدين. والصور بالمجهر في مختبر المعادن في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة دمشق بمساعدة د. خليل عزيمة والشكر للدكتور كنج الشوفي الذي أسهم إسهاماً كبيراً في هذا البحث.

REFERENCES

[1] P.Verardi et al., J.Appl.Phys .109 (1997) 371-375
[2] V.graciun et al., Applied Surface Science 86 (1995)99-106
[3] R.Gouri et al., Apple.Phys 78 (1995) 6000-6005
[4] J.miller, Laser ablation – Principles and Applications, , Tehnessee (1994)
[5] E.henriech, The Surface Science of Metal Oxides, Cambridge University Press , USA (2000)
[6] A.E. Jimenez , J.G.Cambrary: Surface Engineering .16 (1) (2000) .77-79
[7] G.ghiotti . International School on Gas Sensors . Lecce, Italy (2001)
[8] Yar – Sun Hsuand Ghand Is. Kj.9 Electrochem Soc.,Solid State Sci Technol. 127 (1980)1592
[9] C.Terrier et al., Thin Solid Films 295 (1997) 95 .