



A Study of the Effect of Temperature on the Structural Properties of Zinc Oxide (ZnO) Thin Films

Fadel Ezzdin El-Sharif ^{1*}, Abu Al-Qasim Masoud Al-Qat ², Asmaa Issa Moawi ³

^{1,2,3} Department of Physics, School of Basic Sciences, Libyan Academy, Janzour, Tripoli, Libya

*Corresponding author: fadel.sharif@academy.edu.ly

Received: May 02, 2025

Accepted: July 26, 2025

Published: July 31, 2025

Abstract:

Zinc oxide thin film technology is a leading technology in many advanced industries, due to its high efficiency in the manufacture of electrical and electronic devices, and its highly effective physical properties. The study of the effect of temperature on revealed that the pure zinc oxide film had a close-packed hexagonal structure. When measuring the crystal size of the zinc oxide films, it was found that it had different spectral values due to heat treatment at 80°C. This is due to the appearance of a network on the film surface. This type of film formation produces high-quality films. Electron microscopy examination revealed the appearance of defects in the film material, which affected the physical and chemical properties of the deposited films. Measurements showed that the average thickness of the deposited films was between 14.26 µm and 18.68 µm at two temperatures (70°C and 80°C). The results were in good agreement with published results.

Keywords: Deposition technique, zinc oxide, crystalline, grain size, film thickness.

دراسة تأثير درجات الحرارة على الخصائص التركيبية لأغشية أكسيد الزنك (ZnO)

فاضل عز الدين الشريف ^{1*}، ابو القاسم مسعود القط ²، اسماء عيسى معاوي ³
^{3,2,1} قسم الفيزياء، مدرسة العلوم الاساسية، الاكاديمية الليبية، جنزور، طرابلس، ليبيا

المخلص

تعتبر تقنية الاغشية الرقيقة لأوكسيد الزنك من التقنيات الرائدة في العديد من الصناعات المتقدمة، وذلك ما تظهره من كفاءة عالية في صناعة الاجهزة الكهربائية والالكترونية، وتتميز خصائصها الفيزيائية بفاعلية عالية. ودراسة تأثير درجات الحرارة على التركيب البلوري للأغشية الرقيقة يعتمد على تقنية التحضير، في هذه الدراسة قد اعتمدت طريقة الترسيب باستخدام الغمر. واطهر الكشف بالأشعة السينية بأن غشاء أوكسيد الزنك النقي ذي التركيب السداسي المترص، وعند قياس الحجم البلوري لأغشية اوكسيد الزنك وجد انه يساوي قيم مختلفة للأطراف بسبب المعالجة الحرارية عند 80 °C وذلك بسبب ظهور شبكة على سطح الغشاء، وهذا النوع من التشكيل للأغشية يعطي جودة عالية. واطهر الكشف بالمجهر الالكتروني الى ظهور عيوب في مادة الاغشية، التي لها تأثير على الخصائص الفيزيائية والكيميائية على الاغشية المرسة. وأظهرت القياسات ان متوسط سمك الاغشية المرسة كان ما بين (14.26 و 18.68) µm، عند درجتي حرارة (70°C، 80°C). وكانت النتائج في اتفاق جيد مع النتائج المنشورة.

الكلمات المفتاحية: تقنية الترسيب، اوكسيد الزنك، البلوري، حجم الحبيبة، سمك الغشاء.

مقدمة

ان تقنية الاغشية الرقيقة لها العديد من التطبيقات في كثير من المجالات العلمية مثل المجالات الكهروضوئية والضوئية المغناطيسية وتلعب دور مهم في تصنيع الأجهزة الالكترونية المختلفة وبما ان معظم المواد تختلف في خصائصها الفيزيائية عندما غشاء رقيق مما يساعد على الاستفادة من هذه التغيرات في تصنيع أجهزة متعددة الاستخدامات والتطبيقات [1]. تعد دراسة المواد المرسة بشكل اغشية رقيقة احدى الوسائل المناسبة لمعرفة العديد من خصائصها الفيزيائية والكيميائية التي يصعب الحصول عليها بشكلها الطبيعي ويطلق مصطلح الاغشية الرقيقة (Thin Film) لوصف طبقة او عدة طبقات من ذرات المادة التي يتعدى سمكها ما يكرونا واحد [2]، ناتجة عن تكثيف أو ترسيب الذرات أو الجزيئات والتي تمتلك خواص فريدة على سطوح زجاجية أو معدنية أو بلاستيكية والتي تسمى بالركيزة (Substrate). من الخواص الأساسية للأغشية الرقيقة التركيب البلوري للأغشية وسمك الأغشية وغيرها من الخصائص والمميزات التي لا تتوفر في المادة بشكلها الحجمي

وتركيب الأغشية يعتمد على تقنية التحضير وتكون على هيئة أغشية عشوائية ومتعددة البلورات وأغشية أحادية البلورة. إن خواصها البصرية تتغير اعتمادا على البنية البلورية ووجود أو عدم وجود الشوائب وتقسيم هذه المواد وفقا لتركيبها البلوري أو لترتيب ذراتها [4].

معظم أكسيد الزنك المستخدم يصنع تركيبيا، ويعتبر من المركبات شبه الموصلية الشفافة المهمة بسبب كثرة تطبيقاته [5]. يتمثل تركيب أكسيد الزنك ZnO في ان الزنك يتشارك مع الأكسجين ثنائيات الكترونية لتكوين روابط تساهمية. وعندما يتفاعل الزنك مع الأكسجين لتكوين أكسيد الزنك ZnO يتم تشكيل رابطة أيونية وهي رابطة تنشأ بين ذرتين احدهما تميل الي فقد الإلكترونات والأخرى تميل الي كسبها. وتتميز هذه الروابط بأنها قوية جدا مما يجعل منها مادة صلبة وذات صلابة عالية. ان أحد اهم اشباه الموصلات هي ما يسمى بأكاسيد التوصيل الشفافة الثنائية (TCO)، وهي عبارة عن أشباه موصلات مركبة تتكون من فلز متحد مع أكسجين مثل (ZnO، SnO₂، TiO₂). استخدمت في كثير من التطبيقات منها الحساسات الغازية والخلايا الشمسية وكواشف الأشعة تحت الحمراء بسبب خصائصها البصرية الجيدة [2,3]. يمتد طيف النفاذية فيها ما بين (400-1500nm) وحزمة التوصيل فيها مليئة بالإلكترونات بالرغم من كبر فجوة الطاقة الممنوعة بسبب الشواغر الأكسجين الناتجة عن عدم التوافق الجزيئي [7] وهي مواد تستعمل في الكثير من التطبيقات الالكترونية (كشاشات النوافذ المسطحة، والترانزستورات البصرية) وهذه المواد تحضر على شكل شرائح رقيقة بسبك النانومتر بتقنيات متعددة مثل تقنية الترسيب بالغمر حيث تعتبر من ابسط واسهل الطرق [4]. وأكسيد الزنك (ZnO) هو مادة غير سامة قليل الذوبان في الماء وذات نفاذية عالية للضوء المرئي وانعكاسية في المنطقة تحت الحمراء)، كما انه متوفر في الطبيعة ودو استقراره كيميائية عالية.

تم تحضير طبقات رقيقة من أكسيد الزنك ZnO أول مرة في اليابان عام 1968 [6]. تعتبر أكسيد الزنك ZnO من المواد النانوية الهامة، ويستخدم في العديد من التطبيقات الحيوية والتقنية. صنف أكسيد الزنك ZnO كأحد أشباه الموصلات التي تمتلك فجوة طاقة مباشرة كبيرة نسبيا تصل إلى 3.37eV عند درجة حرارة الغرفة.

أجريت العديد من الدراسات حول أغشية أكسيد الزنك (ZnO) وامكانية الاستفادة منها في كثير من التطبيقات المهمة ومنها في عام 1968م تمكن العالم Chartier وزملائه من تحضير غشاء (ZnO) ذي التصاقه جيدة على قواعد زجاجية بطريقة التحلل باستخدام محلول مائي بمولارية مقدارها (0.1 μ) من اذابة نترات الزنك المائية في ماء الأيوني مع قليل من حامض النتريك حيث أظهرت نتائج الفحص بالأشعة السينية بأن الغشاء عبارة عن أكسيد الزنك النقي ذي التركيب السداسي المتراس. وفي عام (2004) قام عدد من الباحثين منهم [7] Norton بتحضير غشاء ZnO النقي بتقنية الترسيب بالليزر النبضي على قواعد من Al₂O₃ عند درجة حرارة (600 °C) لينتج تركيز حاملات شحنة (الالكترونات) ضمن المدى 10^{20} - 7.5×10^{15} cm⁻³. وقد اشار الباحثون الي امكانية زيادة هذا المدى الي قيمة تتراوح 10^{20} - 5×10^{20} cm⁻³ من تركيز الالكترونات عن طريق اشابتها بالتذرية بالحزمة الايونية لعنصر Mn ومن ثم التلدين عند درجة (600 °C). اما في عام 2005 قام الباحثون [8] Asadov بدراسة العلاقة المتبادلة بين الخواص التركيبية والخواص الكهربائية لأغشية (ZnO) المحضرة بأسلوبين الاول التذيد بالموجات الراديوية والثاني التذيد بالتيار المستمر على قواعد زجاجية. حيث ان الخصائص الكهربائية لغشاء (ZnO) يتحدد بعاملين الاول التكافؤ الكيميائي للغشاء (Stoichiometry) والثاني هو التركيب البلوري.

النظرية وطريقة العمل

اولا: طريقة تحضير الأغشية الرقيقة

أعطت تقنية الأغشية الرقيقة فكرة واضحة عن العديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد، التي يصعب الحصول عليها بشكلها الطبيعي. هناك نوعان من الطرق لتحضير الأغشية الرقيقة بعضها فيزيائية والأخرى كيميائية. ويعبر مفهوم الأغشية الرقيقة عن البعد الثالث (السك) صغير جدا، كما يستخدم لوصف طبقة أو طبقات عديدة من ذرات المادة لا يتعدى سمكها 2μm أو عدة نانومترات، والميزة الأساسية للطبقة الرقيقة تكاثف طبقة رقيقة على الركيزة، وعليه يجب الأخذ في الاعتبار أهمية تركيب الركيزة التي لها تأثير على الخصائص التركيبية للطبقة الرقيقة، وقد تكون الشرائح الرقيقة من نفس المواد وبنفس السمك ولكن تختلف في الخصائص الفيزيائية. تمكن الشرائح الرقيقة من توفير خواص الحجم على سطوح رقيقة.

لغرض ترسيب غشاء رقيق على سطح ركيزة صلبة يجب أن تمر جسيمات المادة المكونة للغشاء عبر وسط ناقل بحيث يكون هذا الوسط في اتصال مباشر مع الركيزة، إذ بمجرد وصول الجسيمات لسطح الركيزة جزء منها يتمسك بالسطح من خلال قوى (Vander Weels) او تتفاعل كيميائيا معها [9]. الترسيب الكيميائي في هذه الحالة يكون ترسيب الطبقات الرقيقة تحت ضغط اقل من (10pa). وتستخدم العديد من الطرق ومنها طريقة الترسيب بالغمر وهي الطريقة المتبعة في البحث، حيث تعتمد على غمر الركيزة في محلول هلامي لمدة معينة من الزمن ثم تجفف الركيزة بالهواء فتتصلب على طبقة ذات طبيعة هلامية، حيث يتأثر سمك الطبقة الرقيقة بالمدة الزمنية لغمر هذه الركيزة ومن ثم تخضع لعملية المعالجة الحرارية لإعطاء طبقة صلبة ذات نوعية جيدة.

ثانياً: تقنية ترسيب الأغشية الرقيقة بالغمر:

إن تقنية الطلاء بالغمر (Dip-Coating) تعتبر طريقة سهلة وفعالة لتحضير أغشية رقيقة عالية الجودة، وهذه التقنية تعتبر ملائمة للسطوح الواسعة [10]، كما يمكن التحكم في عدم إضاعة المادة المترسبة. حيث تمت عملية الترسيب خلال عدة مراحل، بهدف دراسة الخواص التركيبية لأغشية (ZnO)، وتم ترسيب هذه الأغشية على قواعد من المعدن (الركيزة)، واستخدام فوسفات الزنك $(Zn_3(PO_4)_2)$ كمصدر لزنك [11]. حيث تعتمد عملية الترسيب بالغمر على عدة عوامل أهمها: نوع المواد الأولية، ونوع الركيزة، وزمن الغمر، درجة حرارة الأرضية (أي درجة حرارة الركيزة)، والجدول (1) يوضح المواد المستخدمة في تحضير المحلول.

الجدول 1. يوضح المواد المستخدمة في تحضير المحلول.

Compound	Sodium Nitrate	Nitric acid	Zinc Oxide	Phosphoric acid
content	4.0 g/L	7.5 m/L	12.7923 g/L	17.5 m/L

ولضمان دوام المحلول ثم استعمال خلاط مغناطيسي لخلط المحلول لمدة زمنية كافية حوالي (30min) لتأكد من عدم وجود أي رواسب والتأكد من دوام المادة بالماء المقطر بشكل تام وبعد اكتمال عملية الادابة يتم الحصول على محلول متجانس من ZnO.

ثالثاً: عملية الطلاء

في هذه المرحلة تمر كل عينة بعدة مراحل وهي، أولاً تغمر الركيزة في (هيدروكسيد الصوديوم وذلك من أجل إزالة الشوائب والأتربة)، ثم تغسل العينة بالماء المقطر وذلك لإزالة أي جزئيات من هذه المادة، ثم تغمر العينة في الحامض (H_2SO_4) وذلك لإزالة الصدأ من العينة وفي نفس الوقت يعمل على تنشيط سطح الركيزة لكي تستقبل الطلاء ويتم غسل العينة بالماء المقطر من جديد للتخلص من المواد المتبقية على السطح. ثانياً تغمر العينة في (SOL- GOL) المكون من (Phosphoric acid، Nitric acid، Sodium nitrate Zinc oxide) في هذه الخطوة يسخن محلول الطلاء عند درجات الحرارة المختلفة مثلاً عند درجة حرارة $70^\circ C$ نغمر العينة المراد ترسيب أكسيد الزنك عليها لمدة دقيقة أو أكثر على حسب الدراسة المطلوبة ثم تسحب العينة وتجفف بواسطة الهواء. وهكذا مع باقي العينات.

الطرق المتبعة لقياس الخصائص التركيبية

أولاً: حيود الأشعة السينية (XRD):

تعتمد هذه التقنية على تعريض العينة إلى أشعة سينية أحادية الطول الموجي جزء من هذه الأشعة ينعكس عن طريق المستويات الذرية للبلورات في اتجاهات معينة وبشدة مختلفة وهذا تبعاً لتوجيه وعدادها فيتم تسجيل شدة الأشعة المنعكسة بدلالة زاوية الانحراف (θ_2) للشعاع، حيث يعتمد مبدأ هذه الطريقة على قانون براج والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$(1)n \lambda = 2d_{hkl} \sin\theta$$

حيث d_{hkl} هي المسافة بين مستويين بلوريين متعاقبين. θ هي زاوية براج. n هي عدد صحيح يسمى رتبة الحيود (1،2،3.....)، λ هو الطول الموجي للأشعة السينية. من خلال قانون براج نستطيع استنتاج الزاوية التي يحدث عندها الانعكاس لكل المستويات التي تفصل بينها مسافة ببنية (d_{hkl}) وبما أن قيمة $(\sin\theta)$ لا تزيد قيمتها عن الواحد الصحيح فإن قانون براج يوضح أن القيمة (λn) لا بد أن تكون أقل من $(2d_{hkl})$ ، بالإضافة إلى أن أقل قيمة لتعدد (n) هو الواحد الصحيح يكون الشرط الواجب توافره لحدوث الحيود عند الزاوية (2θ) (الزاوية بين شعاع الحيود والشعاع النافذ) هو $2d_{hkl} < n\lambda$.

ثانياً: تحديد الخصائص التركيبية باستعمال الأشعة السينية:

ثوابت الشبكة (a,c):

إن معرفة العوامل البنوية الخاصة بأية مادة والتي تعتمد على طيف حيود الأشعة السينية يعد أمراً مهماً في تفسير الكثير من الخصائص الفيزيائية [12]، ففي حالة التركيب السداسي والذي يمثل النمط السائد لتركيب (Zno)، فإن (a,b,c) تمثل الأبعاد الشبكية إذ أن (a=b) وبذلك يمكن حساب (a,c) والذين يرتبطان بـ (d_{hkl}) وقرائن ميلر [13] وتعطي علاقة أبعاد الخلية السداسية مع البعد بين المستويين بالعلاقة التالية [14].

$$, C = 2d_{hkl}$$

$$(2)a = (2/(\sqrt{3})) d_{hkl}$$

ثالثاً: مجهر المسح الإلكتروني (sem):

استخدام المجهر الماسح الإلكتروني لمعرفة طبيعة وتشكل أسطح الأغشية المحضرة وتركيبها الداخلي من خلال صور عالية الدقة والتكبير، وللتأكد من وجود العناصر الداخلة في تركيب أكسيد الزنك. وهو يستخدم في دراسة المواد على مستوى النانو. يتميز هذا المجهر بقدرته على إنتاج صور عالية الدقة لسطح العينات من خلال استخدام حزمة من الإلكترونات بدلاً من الضوء، مما يُتيح الحصول على تفاصيل دقيقة حول التركيب السطحي والأبعاد الدقيقة للمواد. يعتمد المجهر الماسح الإلكتروني على مبدأ مسح السطح بواسطة الإلكترونات، حيث يتم تجميع المعلومات من الإشعاعات الثانوية الناتجة عن تفاعل الإلكترونات مع المادة.

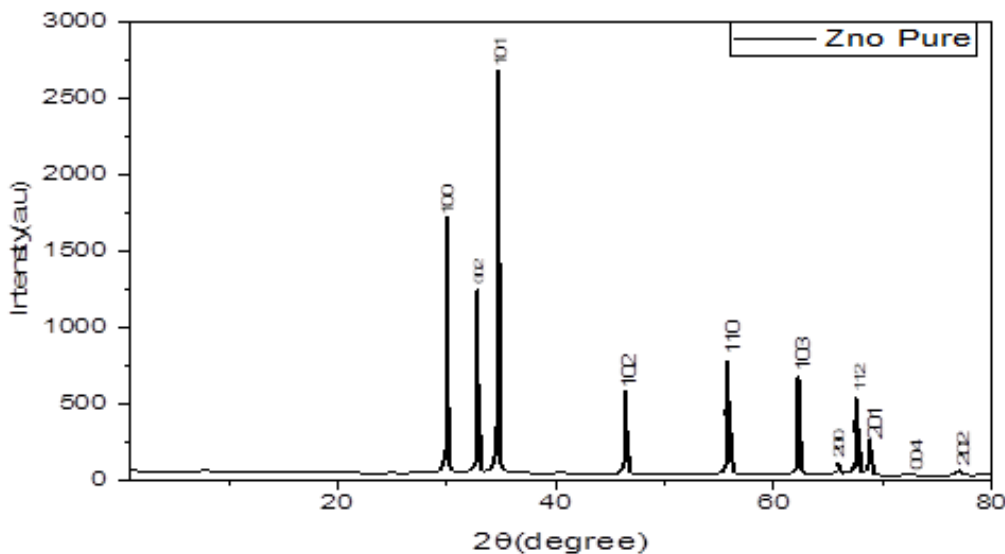
رابعاً: قياس سمك الاغشية الرقيقة:

يعتبر السمك (t) أحد اهم معاملات الغشاء الرقيق، لهذا يوجد العديد من الطرق لقياس سمك الاغشية الرقيقة، منها طريقة الوزن الدقيق والطرق الكيميائية وفي هذه الدراسة استخدمنا في قياس سمك اغشية أكسيد الزنك النقي (جهاز قياس السمك بالموجات فوق صوتية (GE DMS 2 Thickness Gauge)).

النتائج والمناقشة

اولاً: حيود الأشعة السينية: (X-Ray Diffraction)

اظهرت نتائج حيود الأشعة السينية للأغشية المحضرة عند درجات حرارة 70 °C و 80 °C وبأزمة ترسيب مختلف (2)، 3 و 4 دقائق) انها ذات تركيب متعدد البلورات (Polycrystalline) ومن النوع السداسي المتراص (Hexagonal Wurtzite)، وذلك من خلال ظهور كل الانعكاسات المميزة لها عند (2θ) (33.3606, 33.8166, 34.9404, 34.0766, 33.3606) في كل انماط الحيود، وهذا يتفق مع نتائج البحوث المنشورة [15,16]، كما أظهرت النتائج أيضاً انعكاسات ثانوية (إضافية) في جميع العينات عند 2θ [10] انعكاسات عند 2θ تقريباً [9] والناتجة عن حيود الأشعة السينية من المركب الكيميائي ZnO (2), $4H_2$ (2), $4H_2$ (2), $4H_2$ (2) و يعود السبب في ظهور هذه الانعكاسات الى ان جزء كبير من العينة لا يزال غير متبلور وجزء واسع من الخليط غير متجانس مما يشير الى توزيع واسع لحجم البلورات او الى عدم استقرار جزئي في البنية البلورية وظهور بعض العيوب البلورية وتشكيل بنية ثنائية الطور.

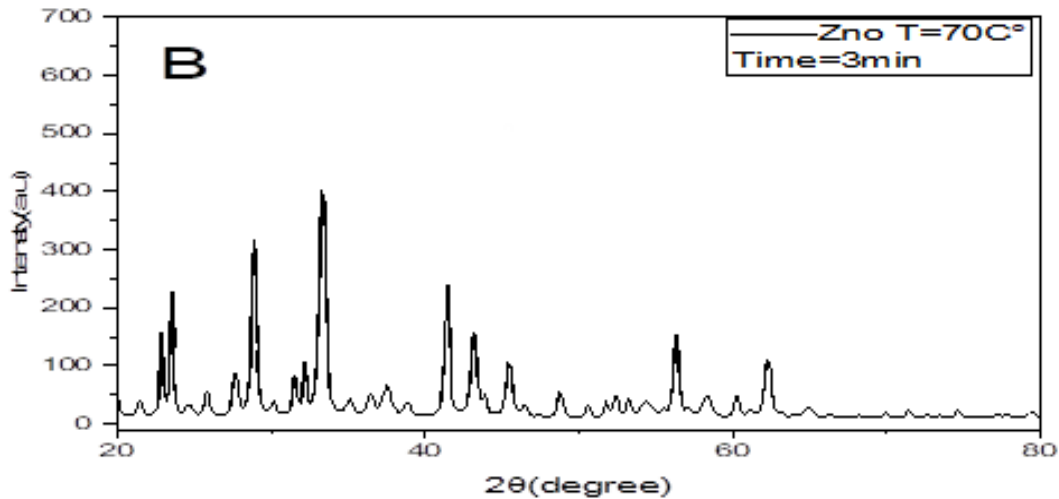
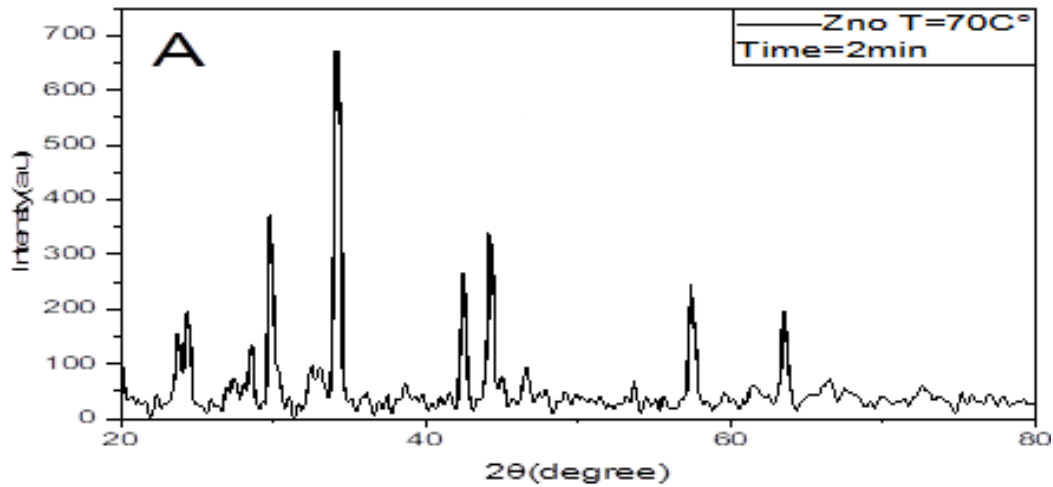


الشكل 1. يبين منحنيات حيود الأشعة السينية ل (ZnO Pure)

الجدول 2. يبين طيف ((XRD للعينة المرجعية

d-Spacing [Å]	FWHM (degree)	2θ(degree)	Crstal Plane	Samlpe Name
2.60092	0.1279	34.4547	(101)	ZnO Pure

يبين الشكل (1) منحنيات حيود الأشعة السينية الخاص بهذه العينات المحضرة والعينة المرجعية. من خلال نمط الحيود تم معرفة القمم التي تظهر بشكل حاد عند تسليط حزم من هذه الأشعة بزوايا مختلفة على الغشاء فتتدفق عدة مستويات الواضحة منها (102)، (101)، و(002) و(100) وأن الاتجاه الأبرز للنمو هو (002) وهذا يتفق مع البطاقة (JCPDS) (01-089-0510) ويتفق أيضا مع نتائج البحوث المنشورة وكان للقمم في العينة A وللقمم في العينة B قيم شدة قوية مقارنة بقمم الانعكاس الضعيفة للغاية في الطيف عند المستوى (002)، وكما يكشف عرض الخطوط الصغيرة ان الغشاء ينمو في اتجاه بلوري واحد بحيث يمتلك تركيب من النوع السداسي المتراص Hexagonal كما هو واضح من الشكل (2).



الشكل 2. يبين طيف (XRD) للعينة المعدنية A, B عند درجة حرارة 70°C لمدة 2 و 3 دقائق على التوالي.

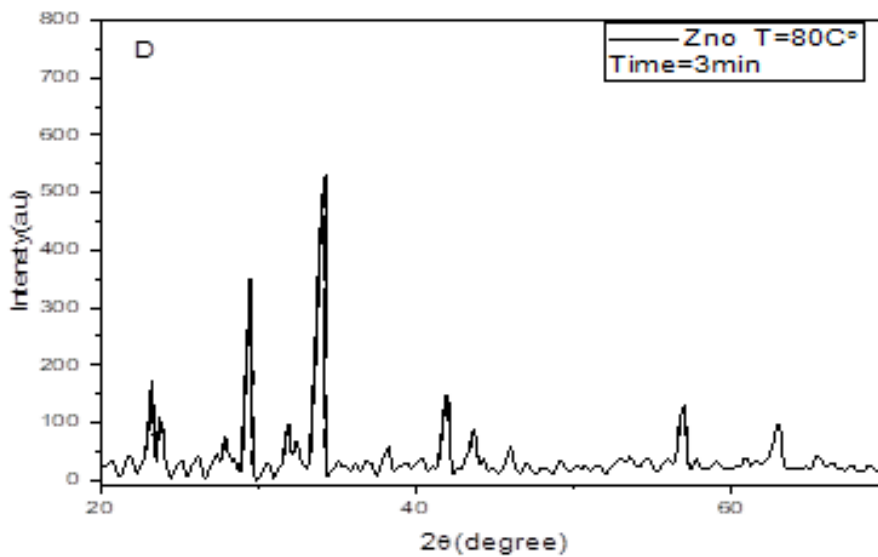
الجدول 3. يوضح حجم البلورة D،FWHM وموضع قمم الزوايا للعينات التي تم تحضيرها

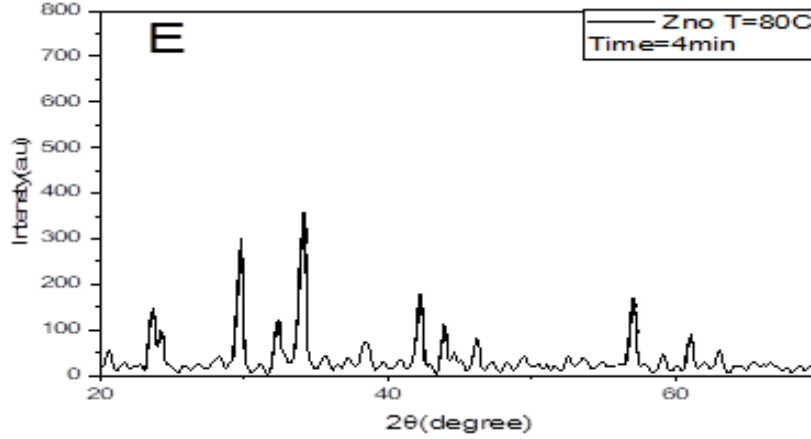
Time(min)	Sample No	Crystal plane	2θ(degree)	FWHM (degree)	D-Spacing [Å]	Lattice Constant [Å]
2	A	(101)	34.9724	0.2047	2.56359	a=2.9601, c=5.1271
3	B	(002)	33.3606	0.1535	2.64399	a=3.0957, c=5.3620

نلاحظ من خلال هذا الجدول رقم (3) وبالمقارنة مع الجدول رقم (2) للعينات النقية وجود فرق بسيط بينها من حيث موضع القمم وعرض المنتصف. كما نلاحظ من الجدول أيضا زيادة في حجم البلورة وهذا يتفق مع قانون براج وكذلك يمكن حساب معدل حجم البلورة من علاقة شيرر. يظهر الشكل (3) انماط حيود الاشعة السينية الخاص بالعينات المحضرة عند درجة حرارة 80°C. تكشف نتائج هذه الانماط ان جزء صغير من العينة لا يزال غير متبلور. وأظهرت النتائج زيادة في شدة القمم الرئيسية ل ZnO وهذا يؤكد زيادة نسبة التبلور وتقليل العيوب البلورية بمنح ذرات المادة طاقة كافية لإعادة ترتيب نفسها في الشبكة لذلك يحدث نقصان في عرض المنحني لمنتصف القمة [9].

الجدول 4. يبين حجم البلورة D،FWHM وموضع دورة الزاوية للعينات المعدنية

Sample No	Crystal plane	2θ(degree)	FWHM (degree)	D-Spacing(Å)	Lattice Constant (Å)
C	(002)	33.8166	0.2047	2.64653	a=3.0559, c=5.2930
E	(101)	34.9404	0.1791	2.5687	a=2.9628, c=5.1317
D	(101)	34.0766	0.1791	2.56777	a=2.9650, c=5.1355



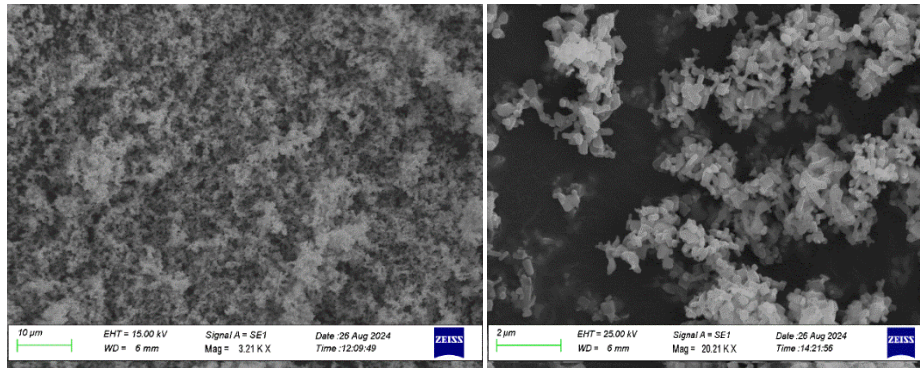


الشكل 3. يبين طيف (XRD) للعينة C,D,E المعدنية عند درجة حرارة 80°C لمدة 2 و3 و4 دقائق على التوالي.

استنتجنا من الجدول (4) ان الحجم البلوري يساوي قيم مختلفة للأطراف بسبب المعالجة الحرارية لكلتا العينات وهي 80 °C ويرجع ذلك الي ظهور شبكة على سطح الغشاء وهذا التشكيل للأغشية يعطي جودة عالية، وكانت النتائج العملية قريبة جدا مع النتائج القياسية [17].

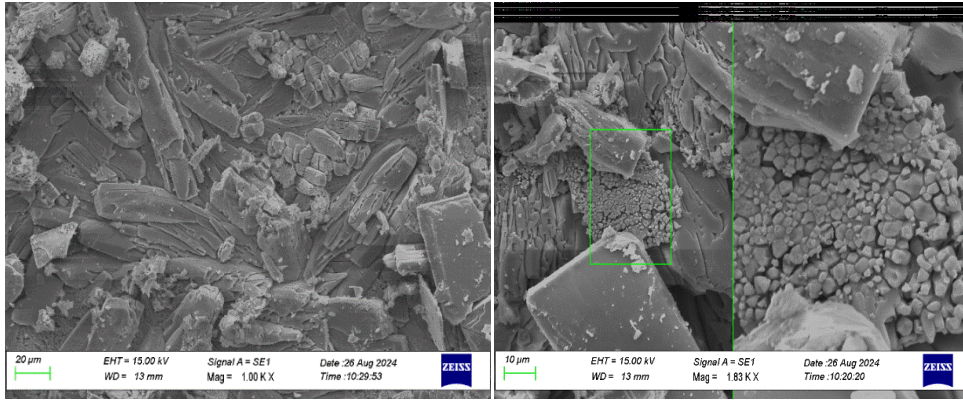
ثانيا: تحليل الماسح الإلكتروني المجهر (SEM):

من أجل التعرف على طوبوغرافية وتركيبية سطح الأغشية المحضرة تم فحص سطح عينات اغشية الزنك المحضر بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) ان الصور التي تم الحصول عليها الموضحة في الشكل (4) الخاصة بعينة ZnO والتي توضح بشكل مباشر مورفولوجية طبقة أكسيد الزنك التي يظهر على شكل هيكل حبيبي متبلور، ومتجانس نوعا ما بالرغم من وجود بعض التجمعات لحبيبات تشبه السحابة النانوية حيث أثر هذا على تجانس مورفولوجية الطبقة وخشونتها لبعض الحبيبات المتناثرة على مساحة سطح الطبقة [9].



الشكل 4. يبين صورة مجهر الماسح الإلكتروني لعينة من أكسيد الزنك النقي (قبل التحضير).

كما بين الشكل (5) صورة الفحص المجهر الإلكتروني sem وبتكبيرات مختلفة لسطوح بعض العينات المحضر. نلاحظ من هذا الصور أن جميع أسطح الأغشية تحتوي على حبيبات وقضبان وكتل مختلفة الأحجام يتخللها فراغات وتشققات وزعت عشوائيا في مادة الأغشية، قد تؤثر مثل هذه العيوب على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للأغشية المحضرة.



الشكل 5. يبين صورة مجهر الماسح الالكتروني لعينة من أكسيد الزنك المحضر عند درجتي حرارة (80 °C و70°C) وبزمن غمر مختلف.

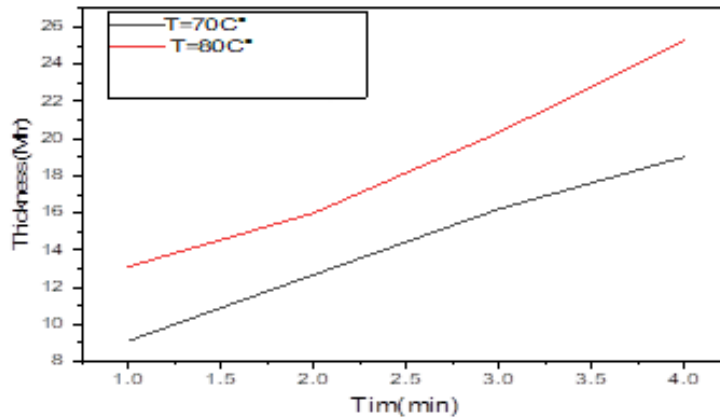
ثالثاً: قياس سمك الاغشية الرقيقة:

يعد السمك أحد أهم معاملات الغشاء الرقيق في تحديد مدى صلاحيته لدراسة خواصه البصرية. في عملنا هذا اعتمدنا في قياس سمك أغشية أكسيد الزنك النقية (ZnO) على (جهاز قياس السمك بالموجات فوق صوتية GE DMS 2 Thickness Gauge). حيث اظهرت النتائج المتحصل عليها ان السمك يتراوح ما بين (9.12µm- 19.02µm) عند درجة حرارة الترسيب 70°C وازمنة ترسيب مختلفة ويتراوح السمك ما بين (13.12µm-25.28µm) عندما كانت درجة حرارة الترسيب 80°C وازمنة ترسيب المختلفة كما في الجدول (5). نلاحظ من خلال هذه النتائج ان سمك اغشية اكسيد الزنك المرسبة يزداد مع زيادة درجة الحرارة وكذلك مع زيادة زمن الترسيب. والسبب في هذه الزيادة هو زيادة النمو البلوري للأغشية المترسبة على السطح المعدني.

الجدول 5. يبين سمك الاغشية الرقيقة عند درجات حرارة و أزمنة مختلفة.

Time (min)	Thickness (µm) at 70°C	Thickness (µm) at 80°C
1	9.12	13.12
2	12.68	16
3	16.22	20.34
4	19.02	25.28

متوسط سمك الغشاء عند درجة حرارة 70°C درجو مئوية يساوي 14.26 µm ، ومتوسط سمك الغشاء عند درجة حرارة 80°C يساوي 18.68 µm .. ومن الشكل رقم (6) نلاحظ ان العلاقة بين السمك والتغيير في زمن الترسيب عند درجة حرارة مختلفة كانت علاقة طرديا وهذا يعتبر سلوك طبيعيا بسبب الزيادة في زمن الترسيب، واطهرت المقارنة ان الغشاء كان اسمك عند درجة الحرارة 80°C عنه عند درجة الحرارة 70°C.



الشكل 6. العلاقة بين السمك والتغيير في الزمن عند درجتي حرارة 70°C و80°C.

خاتمة:

يعتبر أكسيد الزنك (Zno) من عائلة الاكاسيد الشفافة الناقلة (TCO) ذو خصائص فيزيائية هامة وهو ما يجعلها أكثر المواد استعمالا في مختلف المجالات مثل: الخلايا الكهروضوئية والالكترونيات الضوئية قمنا في هذا العمل بتحضير أغشية أكسيد الزنك النقية المحضرة عند درجات حرارة مختلفة وبأزمنة ترسيب مختلفة وذلك بإذابة أكسيد الزنك في كل من حمض الفوسفوريك وكذلك حمض النيتريك و نترات الصوديوم عن طريق تقنية الترسيب بالغمر. وقد تمت الدراسة التركيبية للأغشية المحضرة حيث اظهرت نتائج قياسات حيود الاشعة السينية ان الاغشية المحضرة ذات تركيب سداسي متراس وباتجاه نمو تفضيلي (002) للطبقات كما لوحظ زيادة في شدة القمم وازدياد في الحجم الحبيبي بزيادة درجة الحرارة. واعطت القياسات تغير في سمك الاغشية بعد زيادة زمن الترسيب عند درجات حرارة مختلفة.

قائمة المراجع:

1. أسامة زيد عبد، (2012). "دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية" NiO ، مذكرة لنيل شهادة الماجستير، جامعة ديالى.
2. بالطيب إبراهيم، (2019). دراسة الخواص البنيوية المورفولوجية والضوئية لأغشية أكسيد الزنك المطعمة بالنيكل بتقنية رذاذ الانحلال الحراري، مذكرة ماستر، جامعة ورقلة.
3. جبير عبد الله نجم، جمال مال الله رزيح، (2012). دراسة تأثير السُمك على الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أكسيد الخارصين المطعمة بالكاديوم بنسبة 7 % والمحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري، مجلة جامعة الأنبار للعلوم الصرفة. المجلد السادس، العدد الثالث.
4. رافع عبدالله منيف، رائد عبد الوهاب إسماعيل، صبري جاسم محمد، (2013). دراسة الخواص التركيبية والبصرية لغشاء أكسيد الزنك الرقيق نانوي التركيب بطريقة الترسيب بالحمام الكيميائي، مجلة تكريت للعلوم الصرفة.
5. ميخائيل عيسى منصور، ياسر حسين محمد، (2015). تأثير بعض عوامل التحضير على الخصائص البصرية لأغشية ZnO المرسبة بتقنية الترسيب البخاري الكيميائي CVD ، مجلة التربية والعلم.
6. ميسم شهاب احمد، (2018). تأثير السمك والتلدين على الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية ZnO: Al ، مجلة علوم الرافدين، المجلد 27، العدد 2، ص 108، 124.
7. اسراء أكرم عباس، & نادر فاضل حبوب. (2015). المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري (ZnO: Bi) الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية. مجلة المستنصرية للعلوم والتربية، 16(1)، 9-34.
8. ديسرى مصطفى، دالحسيني الطاهر، (2017). "مقدمة في فيزياء أشباه الموصلات"، موقع الفريد في الفيزياء، طبعة.
9. ك. مصطفى كاظم، (2012). الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية (ZnO) ، رسالة ماجستير، جامعة ديالى، العراق.
10. ر. عبد الله منيف، ر. عبد الوهاب اسماعيل، ص. جاسم محمد، (2013). دراسة الخواص التركيبية والبصرية لغشاء أكسيد الزنك الرقيق نانوي التركيب بطريقة الترسيب بالحمام الكيميائي، مجلة تكريت للعلوم الصرفة، المجلد 18، العدد 1، جامعة تكريت، العراق.
11. ن.علي حسين، (2012). دراسة الخواص البصرية لأغشية أكسيد النحاس س CuO المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري وتأثير إشعاع جاما عليها، مجلة علوم المستنصرية، المجلد 23، العدد 2، جامعة المستنصرية، العراق.
12. M. S. Al-Ruqeishi et al; (2007). Piezoelectric nanogenerator based on ZnO nanorods; Arabian Journal of chemistry.
13. ر. احمد علي. (2014). تحضير ودراسة بعض الخصائص الفيزيائية لأغشية [Cd_{1-x}CrxO] الرقيقة، جامعة ديالى، العراق.
14. ر. صديق عبد الستار الدليمي، (2013). ر دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية اوكسيد النيكل المحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري، رسالة ماجستير، جامعة ديالى، العراق.
15. Li, G. R., Lu, X. H., Zhao, W. X., Su, C. Y., & Tong, Y. X. (2008). Controllable electrochemical synthesis of Ce⁴⁺-doped ZnO nanostructures from nanotubes to nanorods and nanocages. *Crystal Growth and Design*, 8(4), 1276-1281.
16. Mrabet, C., Kamoun, O., Boukhachem, A., Amlouk, M., & Manoubi, T. (2015). Some physical investigations on hexagonal-shaped nanorods of lanthanum-doped ZnO. *Journal of Alloys and Compounds*, 648, 826-837.
17. Wang, X., Song, J., Liu, J., & Wang, Z. L. (2007). Direct-current nanogenerator driven by ultrasonic waves. *Science*, 316(5821), 102-105.