

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة
التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة
التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

جامعة ديالى، كلية العلوم، قسم الفيزياء

الخلاصة

حضرت أغشية أكسيد النيكل (NiO) غير المشوبة والمشوبة بالخارصين (Zn) بنسب التشويب الحجمية (% 2, 4, 6 and 8) بطريقة التحلل الكيميائي الحراري على قواعد زجاجية وبدرجة حرارة (370 °C)، وقد تمت دراسة أثر التشويب بالخارصين في بعض الخصائص التركيبية والبصرية للأغشية المحضرة. أظهرت نتائج فحوصات الأشعة السينية أن الأغشية المحضرة ذات تركيب متعدد التبلور ومن النوع المكعب والاتجاه السائد (111) لجميع نسب التشويب عدا الاغشية المحضرة بنسبة تشويب (4%) إذ كان الاتجاه السائد لها هو (200). لقد وجد ان التشويب بالخارصين ادى الى نقص في شدة القمة للاتجاه (111) في نمط حيود الاشعة السينية مقارنةً بأغشية (NiO) غير المشوبة، بينما ازداد معدل الحجم الحبيبي بزيادة نسبة التشويب بالخارصين. وتمت دراسة الخصائص البصرية للأغشية من خلال تسجيل طيفي النفاذية والامتصاصية ولمدى الأطوال الموجية (300- 900) nm، إذ تم حساب فجوة الطاقة البصرية للانتقال الإلكتروني المباشر المسموح باستخدام معادلة $Tauc$ وقد وجد انها بحدود (3.59 eV) لأغشية (NiO) غير المشوبة في حين تزداد قيمتها بزيادة نسبة التشويب لتصل الى (3.75 eV) عند نسبة التشويب (8%). وقد كانت هذه القيم مطابقة لقيمها المستخرجة من قيم الطاقة المقابلة لقمة المنحنى المرسوم بين المشتقة الاولى للامتصاصية بالنسبة للطاقة وطاقة الفوتون، ولمعرفة العلاقة بين معامل الانكسار والطول الموجي تم استعمال انموذجين تطبيقيين هما معادلتى (Sellmeier) و (Cauchy) إذ تم حساب معامل الانكسار السكوني لجميع العينات المحضرة باستخدام الانموذجين المذكورين.

الكلمات الدالة: أغشية NiO الرقيقة، التحلل الكيميائي الحراري، الخصائص البصرية، حيود الاشعة السينية، التشويب بالخارصين، معامل الانكسار السكوني

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة
التحلل الكيميائي الحراري
نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

Study of Structural and Optical Properties of $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ Thin Films Prepared by Chemical Spray Pyrolysis Method

Nabeel A. Bakr, Ziad T. Khodair, Rudainah Sedeeq Abdulsattar

University Of Diyala, College of Science, Department of Physics

Received 24 September 2013 ; Accepted 1 October 2013

Abstract

Pure NiO and NiO doped with Zn with volume percentage doping of (2, 4, 6 and 8 %) have been prepared by chemical spray pyrolysis method on glass substrates at a temperature of (370 °C). The effect of Zn doping on structural and optical properties has been investigated. XRD results showed that all the films were polycrystalline in nature and had a cubic structure with preferred orientation along (111) plane for all doping percentages except the films of 4% doping percentage where the preferred orientation was along the (200) plane. It was found that doping with Zn led to decrease in the intensity of (111) peak, while the average grain size increases as Zn concentration increases. In order to study the optical properties, the absorbance and transmittance spectra have been recorded in the wavelength range of (300-900) nm. The optical energy gap for allowed direct electronic transition was calculated using Tauc equation and it is found to be (3.59 eV) for undoped NiO thin films. However, the increase in doping percentage causes an increase in the value of the energy gap and it reaches (3.75 eV) for the doping percentage of (8%). These values were in good agreement with the values of energy gap obtained by taking the values of energy correspond to the peak of the first derivative of absorbance with respect to energy versus energy curve. In order to investigate the behavior of refractive index as a function of wavelength, two empirical models have been adopted namely Cauchy's and Sellmeier's equations. The static refractive indices for all samples were calculated using these models.

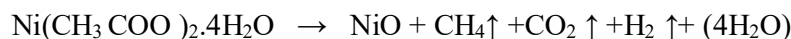
Keywords: NiO thin films, Spray Pyrolysis, Optical properties, X-ray diffraction, Zn Doping, Static refractive index.

المقدمة

أكسيد النيكل (NiO) مسحوق بلوري اما اخضر او اسود ذو كثافة ($6.67g/cm^3$) وذو وزن جزيئي (g/mol) 842.87 ودرجة انصهار ($1984^\circ C$) [1]. ان أغشية (NiO) ذات تركيب بلوري مكعب (Cubic) متمركز الأوجه وهي تشابه تركيب بلورة كلوريد الصوديوم (NaCl) ومن اكاسيده (Ni_2O_3) ويسمى (أكسيد النيكل الأسود) ويكون صلبا بلوريا ونقطة إنصهاره ($600^\circ C$) ويستخدم في تصنيع أملاح النيكل ومحفزات النيكل [2,3]. يكون أكسيد النيكل غير عازل عند درجة حرارة الغرفة ومادة صديقة الفيرومغناطيسية مع مقاومة جيدة وكذلك يمتلك فجوة طاقة عريضة تقدر بـ eV (3.4-4) ويعد من احد المواد الالكترووليتية المهمة بعد أكسيد التنكستن ويستعمل في صنع الانود الكهربائي وله عدة استخدامات بسبب الكفاءة الالكترونية العالية ويمتلك غشاء أكسيد النيكل استقرارية عالية ومتانة عالية وقابل للطلاء وذو توصيلية من النوع الموجب (p-type) [4]. وقد تم استخدام الخارصين كشائبة لامتلاكه نقطة انصهاره منخفضة (Die casting) واجهاد جيد و صلابة قليلة ومتباين الخواص نتيجة التركيب السداسي (hcp) الذي يتصف به [5,6]. تهدف الدراسة الحالية الى تحضير أغشية رقيقة من مادة أكسيد النيكل غير المشوبة والمشوبة بالخارصين وبنسب حجمية مختلفة (2, 4, 6 and 8 %) بطريقة التحلل الكيميائي الحراري والمرسبة على قواعد من الزجاج وبدرجة حرارة منتخبة بحدود ($370^\circ C$).

الجزء العملي

تم ترسيب الاغشية على قواعد من الزجاج بسبك (0.1cm) ومساحة $2.55 \times 2.55 \text{ cm}^2$ مجهزة من (China) National Machinery، اذ مرت عملية تنظيف القواعد الزجاجية بمراحل عدة لضمان دقة التنظيف وما لذلك من اثر بالغ الاهمية في تركيب مادة الغشاء المحضر. حضرت أغشية (NiO) النقية من محلول اسيتات النيكل الرباعية $Ni(CH_3COO)_2 \cdot 4H_2O$ وهي مادة صلبة ذات لون اخضر وزنها الجزيئي (248.87 g/mol) وكثافتها ($6.67g/cm^3$)، ولتحضير محلول تركيزه المولاري (0.1) تم اذابة (2.488 g) من اسيتات النيكل في (100 ml) من الماء المقطر. يوضع هذا المحلول في خزان جهاز الرش ويسمح له بالتدفق بسرعة معينة ومعدل ترسيب (5 ml/min) ودرجة حرارة ($370^\circ C$) وتترسب مادة أكسيد النيكل على القاعدة الزجاجية وتكون ذات لون اسود و مستقرة وذات قوة التصاق عالية، ونحصل على أغشية NiO وفق المعادلة الكيميائية الآتية :



اما المحلول المستخدم لتحضير اغشية $Ni_{(1-x)}Zn_xO$ فتم اعداده بإضافة محلول اسيتات الخارصين وبنسب حجمية (2,4,6,8%) الى محلول خلات النيكل ويتم خلط المحلول باستخدام خلاط مغناطيسي لحين تجانس المحلول. تبدأ عملية الترسيب بوضع القواعد الزجاجية على السخان الكهربائي حتى تصل الى درجة حرارة ($370^\circ C$) ثم يرش المحلول لمدة (10 sec) تعقبها فترة توقف لمدة (2 min) كي تعود القواعد الزجاجية الى درجة حرارة القاعدة ($370^\circ C$) ثم يستأنف

الرش لفترة أخرى حتى الوصول الى السمك المطلوب تحضيره، وفي دراستنا الحالية كان معدل سمك الأغشية المحضرة (400 nm)، ويتم تدوير القواعد الزجاجية في اثناء عملية الرش للحصول على أفضل تجانس للغشاء، وبعد انتهاء عملية الرش يغلق سخان الكهربائي وتترك القواعد الزجاجية فوقه حتى تصل الى درجة حرارة الغرفة للسماح للأغشية المحضرة اكمال عملية الأكسدة والانماء البلوري وعدم تكسر القواعد الزجاجية بسبب إختلاف درجات الحرارة، وتم في دراستنا الحالية استخدام الطريقة الوزنية لاجراء القياسات البصرية. في دراستنا الحالية تم قياس طيفي الامتصاصية (Absorbance) والنفذية (Transmittance) للأغشية المحضرة باستعمال مطياف UV-Visible 1800 المجهز من شركة (Shimadzu) اليابانية، بمدى الأطوال الموجية (300-900 nm)، ولأجل معرفة طبيعة التركيب البلوري للأغشية المحضرة استخدم جهاز حيود الأشعة السينية نوع XRD-6000 المجهز من شركة (Shimadzu) اليابانية.

النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج التشخيص بتقنية حيود الأشعة السينية للأغشية المحضرة غير المشوبة والمشوبة بالخرصين (Zn) بنسب تشويب مختلفة (2%, 4%, 6% and 8%) إنها ذات تركيب متعدد التبلور (Polycrystalline) ومن النوع المكعب (cubic) [7,8]. يبين الشكل (1) منحنيات حيود الأشعة السينية للأغشية المحضرة كافةً، ومن خلال دراسة حيود الأشعة السينية تم معرفة القمم (Peaks) التي تظهر بشكل حاد عند تسليط حزم من هذه الأشعة بزوايا مختلفة على الغشاء بحيث يتاح لها بأن تتداخل تداخلاً بناءً عند توفر شرط براغ ونلاحظ إن الاتجاه السائد للنمو هو (111) ووجد أن هذه النتائج متفقة الى حد ما عند مقارنتها ببطاقة (JCPDS) المرقمة (04-0835)، وأظهرت النتائج أن هناك زيادة في ارتفاع القمم لحالة بعد التشويب مقارنةً بأغشية (NiO) غير المشوبة مع نقصان طفيف في عرض المنحني لمنتصف القمة العظمى (FWHM) بعد النسبة (2%)، إذ إن زيادة ارتفاع بعض القمم دليل على زيادة تبلور المادة وتقليل العيوب البلورية بمنح ذرات المادة طاقة كامنة لإعادة ترتيب نفسها في الشبيكة كما إن قيمة عرض المنحني لمنتصف القمة تقل، وقد تم حساب معدل الحجم البلوري (Dav) (Average crystalline size) باستخدام العلاقة الآتية:-

$$D_{av} = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta_B} \dots\dots\dots (1)$$

اذ: β : عرض منتصف الشدة، θ_B : زاوية براك، λ : الطول الموجي .

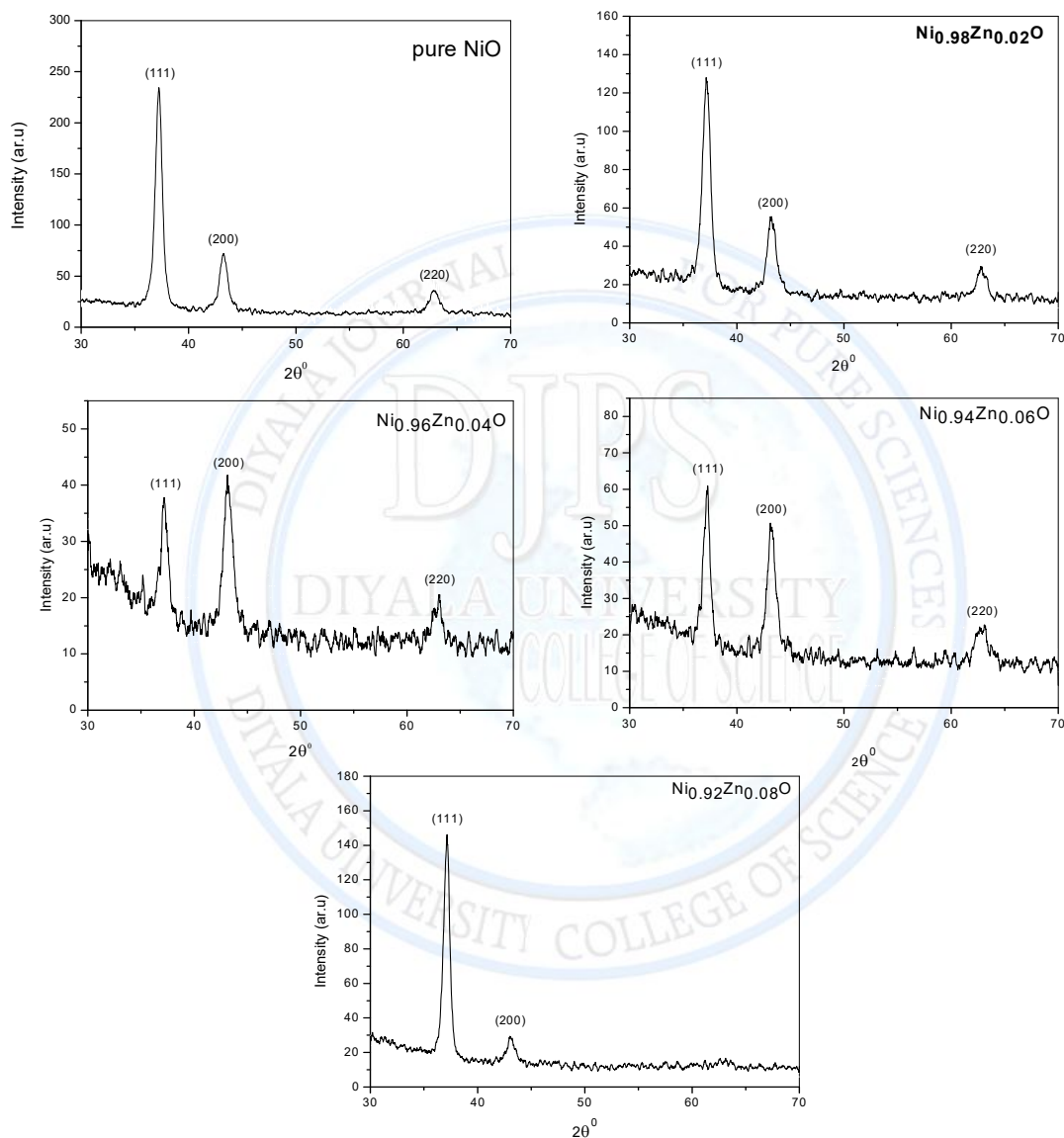
ويتبين من الشكل (1) ان الاتجاه السائد لكافة الاغشية المحضرة كان (111) عدا الاغشية المحضرة بنسبة تشويب 4% فقد كان الاتجاه السائد (200)، وقد وُجد بصورة عامة أن حجم الحبيبات صغير لجميع الاغشية المحضرة وان هناك زيادة طفيفة في حجومها مع زيادة نسب التشويب للاتجاه السائد (111) عدا النسبة (4%) والتي تم حساب حجمها الحبيبي ضمن الاتجاه (200)، ويمكن تفسير الزيادة الطفيفة الى دخول ذرات الخارصين (Zn) كذرات بينية في الشبيكة البلورية وليست

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة

التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

ابداً لية لان ذرات الخارصين اكبر من ذرات اوكسيد النيكل اعتماداً على القطر الايوني لكل من النيكل (0.69 \AA) وللزنك (0.74 \AA).



الشكل (1) : حيود الاشعة السينية لأغشية أوكسيد النيكل غير المشوبة والمشوبة بالخارصين

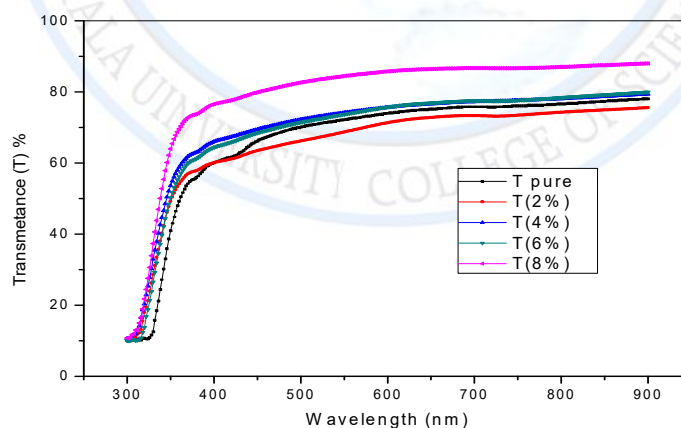
دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة
التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

الجدول (1) : النتائج التي تم الحصول عليها من حيود الأشعة السينية

Sample	Pure NiO	$\text{Ni}_{0.98}\text{Zn}_{0.02}\text{O}$	$\text{Ni}_{0.96}\text{Zn}_{0.04}\text{O}$	$\text{Ni}_{0.94}\text{Zn}_{0.06}\text{O}$	$\text{Ni}_{0.92}\text{Zn}_{0.08}\text{O}$
<i>hkl</i>	111	111	200	111	111
$2\theta(\text{deg})$	37.197	37.140	43.185	37.11	37.09
$(FWHM)(\text{rad})$	0.012	0.0153	0.0106	0.0114	0.0114
$(D_{av})\text{nm}$	11.58	9.54	14.04	12.73	12.73

يبين الشكل (2) طيف النفاذية لمدى الأطوال الموجية (300-900) nm لأغشية أكسيد النيكل غير المشوبة والمشوبة بالخارصين بنسب تشويب مختلفة (2%, 4%, 6% and 8%), ويلاحظ ان النفاذية لجميع الأغشية تكون اقل مايمكن عند حافة الامتصاص الاساسية (الاطوال الموجية القصيرة)، وان النفاذية تزداد مع زيادة الطول الموجي ثم تبدي زيادة مفاجئة وقوية الى ان تثبت بعد الطول الموجي (450 nm) في المنطقة المرئية وتحت الحمراء القريبة، اما عند التشويب فان النفاذية تزداد مع زيادة نسب التشويب بسبب النفاذية العالية لـ (ZnO) في منطقة الطيف المرئي وتقدر بـ (T>92%) [9] وتكون اعلى قيمة لها 88% عند نسبة التشويب 8%.



الشكل(2): النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية NiO النقية والمشوبة بـ Zn ولنسب مختلفة.

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة

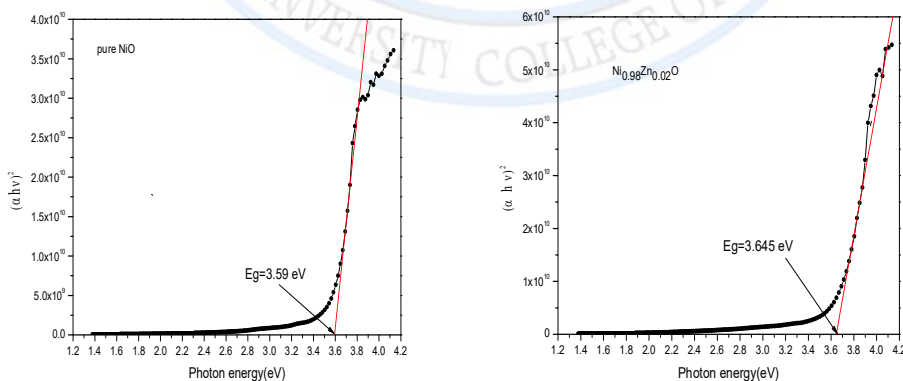
التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

وتم حساب فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الألكترونية المباشرة المسموحة لأغشية أكسيد النيكل غير المشوبة والمشوبة بالخارصين باستخدام العلاقة :-

$$\alpha h\nu = P (h\nu - E_g)^r \quad \dots\dots\dots (2)$$

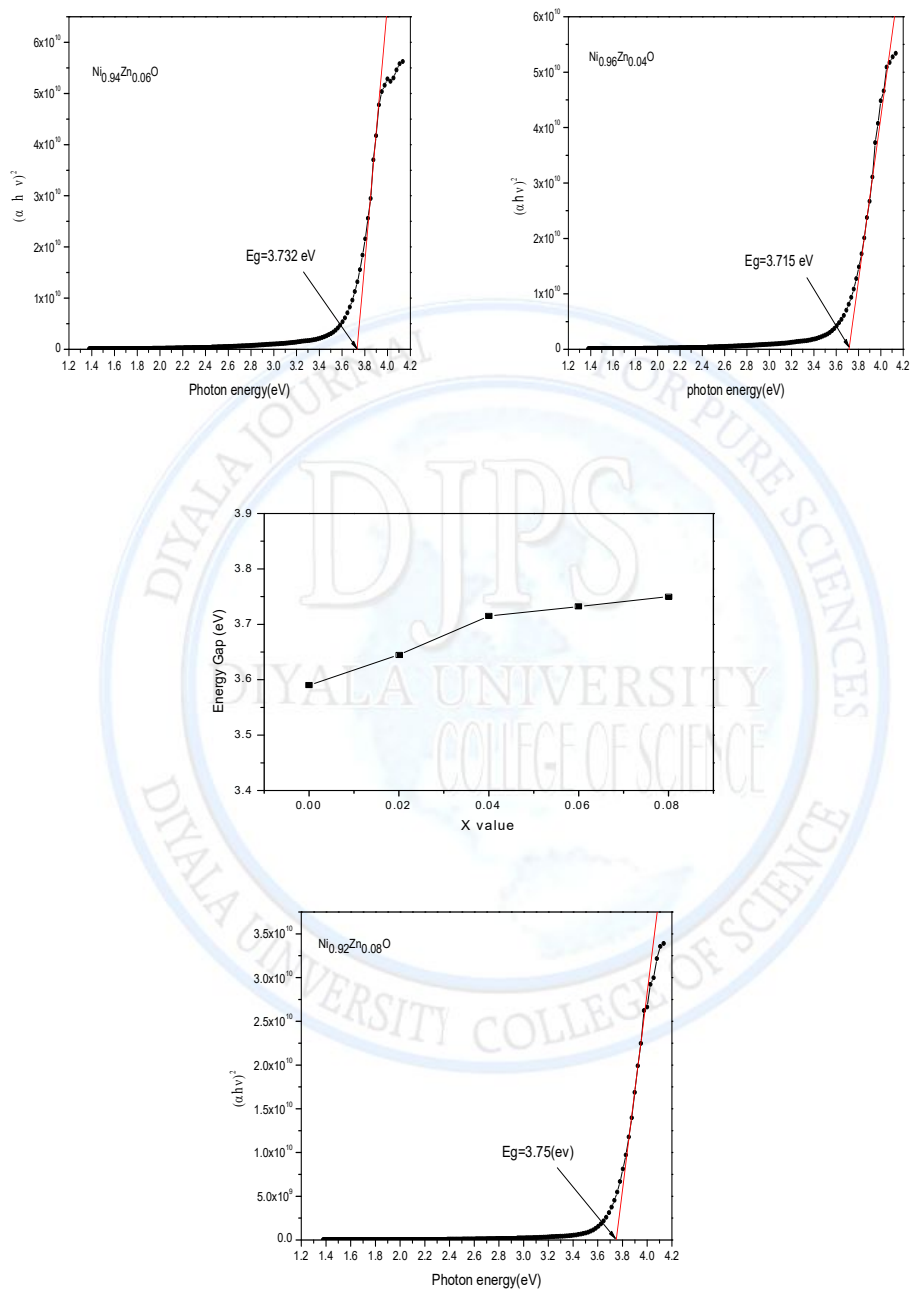
اذ تكون قيمة (r=1/2)، وذلك برسم العلاقة الخطية بين $(\alpha h\nu)^2$ وبين طاقة الفوتون الساقط ($h\nu$) وبأخذ افضل خط (fitting) للجزء المستقيم من المنحني ليقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة ($h\nu = 0$) وإذ تتحقق العلاقة أعلاه، وبمعنى آخر أن ($E_g = h\nu$) أي أن نقطة القطع تمثل قيمة فجوة الطاقة البصرية (E_g) للانتقال المباشر المسموح. وكما هو موضح في الشكل (3) اذ لوحظ إن تشويب أغشية أكسيد النيكل (NiO) بالخارصين أدى الى الزيادة في قيم فجوة الطاقة البصرية ولجميع نسب التشويب وتراوحت قيمتها (3.59-3.75) eV، وهذا يعني إن التشويب أدى إلى إزاحة حافة الإمتصاص نحو الطاقات العالية. إن هذه الزيادة يمكن أن تفسر بوصفها نتيجة لما يسمى بإزاحة بورشتاين – موس (Bureshtain-Moss Shift) [10,11] اذ إن المستويات القريبة من حزمة التوصيل تكون ممتلئة بالألكترونات لذلك فإن الإلكترونات تحتاج الى طاقة أكبر للانتقال فيبدو وكأن فجوة الطاقة تزداد. والشكل (4) يبين قيم فجوة الطاقة للانتقالات المباشرة المسموحة لأغشية أكسيد النيكل (NiO) كدالة لنسب التشويب المختلفة. ويمكن حساب فجوة الطاقة مباشرة من قيم الامتصاصية فعند اخذ المشتقة الاولى للامتصاصية بالنسبة لطاقة الفوتون ورسم قيم المشتقة كدالة لطاقة الفوتون فإن فجوة الطاقة تمثل قمة المنحني [12] وقد لوحظ إن تشويب أكسيد النيكل بالخارصين قد أدى الى زيادة في قيم فجوة الطاقة المحسوبة بهذه الطريقة كما في الشكل (5) وهذا يتفق مع نتائج أنموذج (Tauc) لقيم فجوة الطاقة كما في الجدول (2).



دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة

التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار



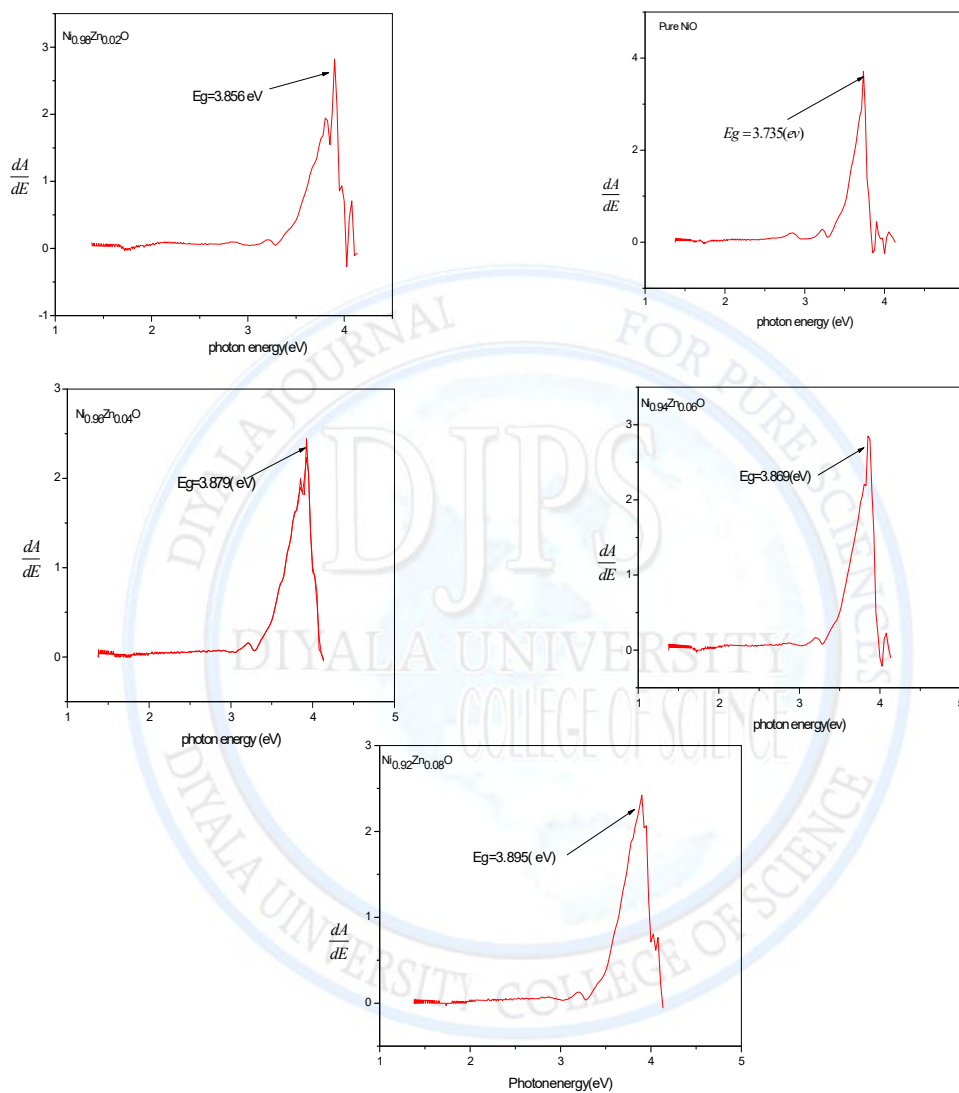
الشكل (3): فجوة الطاقة البصرية للانتقال المباشر المسموح لأغشية اوكسيد النيكل النقية والمشوبة بالخارصين وبنسب مختلفة.

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة

التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

الشكل(4): تغير فجوة الطاقة البصرية كدالة لنسب التشوائب المضافة.



الشكل (5): فجوة الطاقة المحسوبة من المشتقة الاولى للامتصاصية لأغشية اوكسيد النيكل غير المشوبة والمشوبة بالخارصين.

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة
التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

الجدول (2): مقارنة بين قيم فجوة الطاقة للنموذجين المستخدمين.

الاغشية المحضرة	فجوة الطاقة E_g (eV) باستعمال المشتقة الاولى للامتصاصية	فجوة الطاقة E_g (eV) باستعمال انموذج Tauc
Pure NiO	3.735	3.59
$\text{Ni}_{0.98}\text{Zn}_{0.02}\text{O}$	3.856	3.645
$\text{Ni}_{0.96}\text{Zn}_{0.04}\text{O}$	3.879	3.715
$\text{Ni}_{0.94}\text{Zn}_{0.06}\text{O}$	3.869	3.732
$\text{Ni}_{0.92}\text{Zn}_{0.08}\text{O}$	3.895	3.75

استخدمت في هذه الدراسة علاقتا [13] (Cauchy) و [14] (Sellmeier) للحصول على العلاقة المشتركة بين معامل الانكسار والطول الموجي، وتم حساب قيمة معامل الانكسار السكوني (n_0) بأستعمال المعادلتين (3) و (4):

$$n = a + \frac{b}{\lambda^2} \dots\dots\dots (3)$$

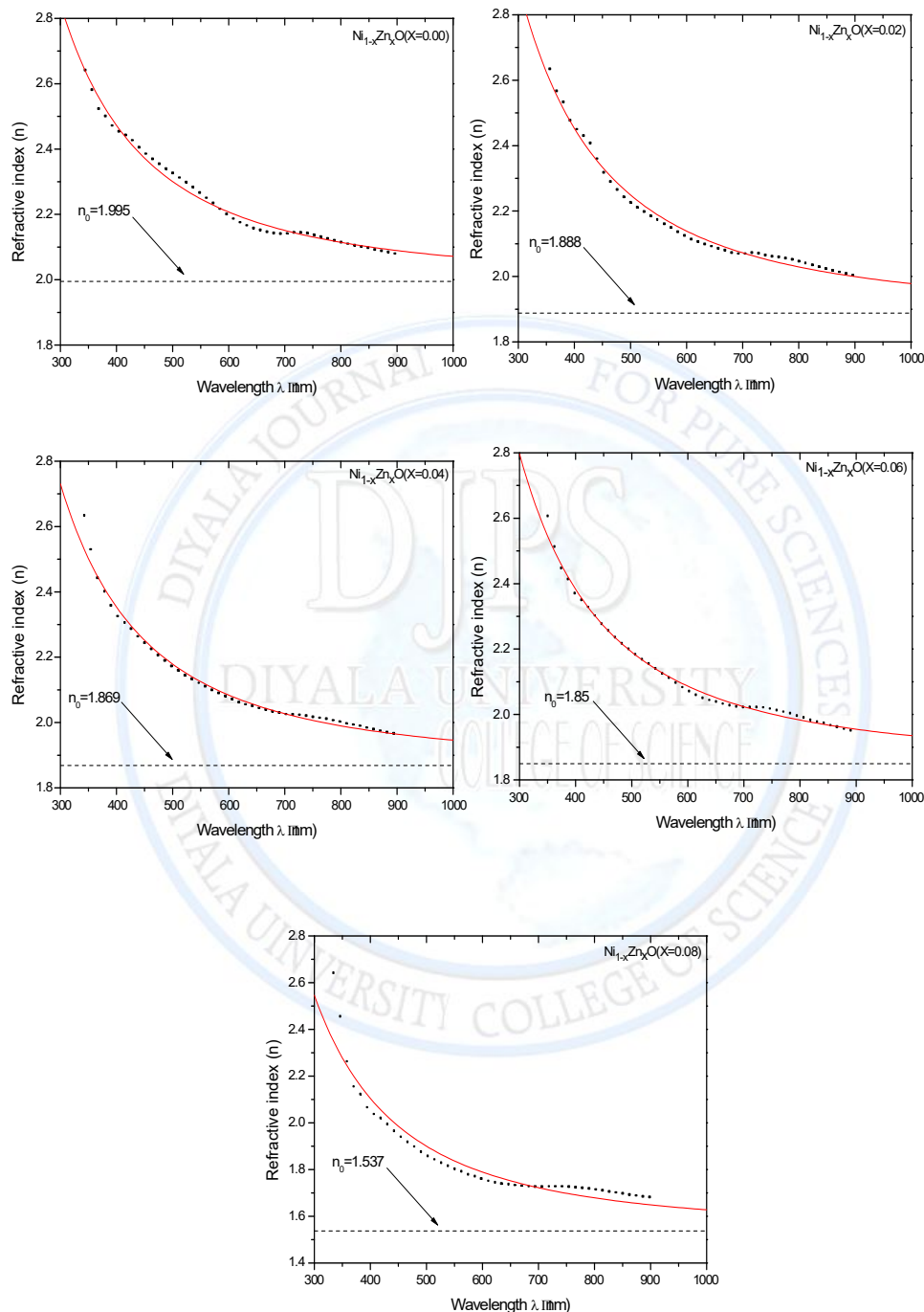
$$n^2 = 1 + \frac{B\lambda^2}{\lambda^2 - C} \dots\dots\dots (4)$$

ففي علاقة (Cauchy) معامل الانكسار السكوني سيكون مساويا الى قيمة الثابت (a) اما علاقة (Sellmeier) فإنه قيمته مساوية الى $(1+B)^{0.5}$ عندما تقترب قيمة الطول الموجي من (∞) وباخذ الموائمة (fitting) لقيم معامل الانكسار كدالة للطول الموجي حيث بينت النتائج ان قيم معامل الانكسار من العلاقتين تكون متطابقة تقريبا مع القيم الاصلية واقل قيمة لمعامل الارتباط ($R^2=0.957$)، ونقل قيم معامل الانكسار بزيادة الطول الموجي وهذا يدل على السلوك التفريقي الطبيعي (normal dispersion behavior) لمادة اوكسيد النيكل (NiO) كما في الشكلين (6) و(7) والجدولان (3) و (4) يبينان قيم الثوابت للعلاقتين.

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $Ni_{(1-x)}Zn_xO$ المحضرة بطريقة

التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار



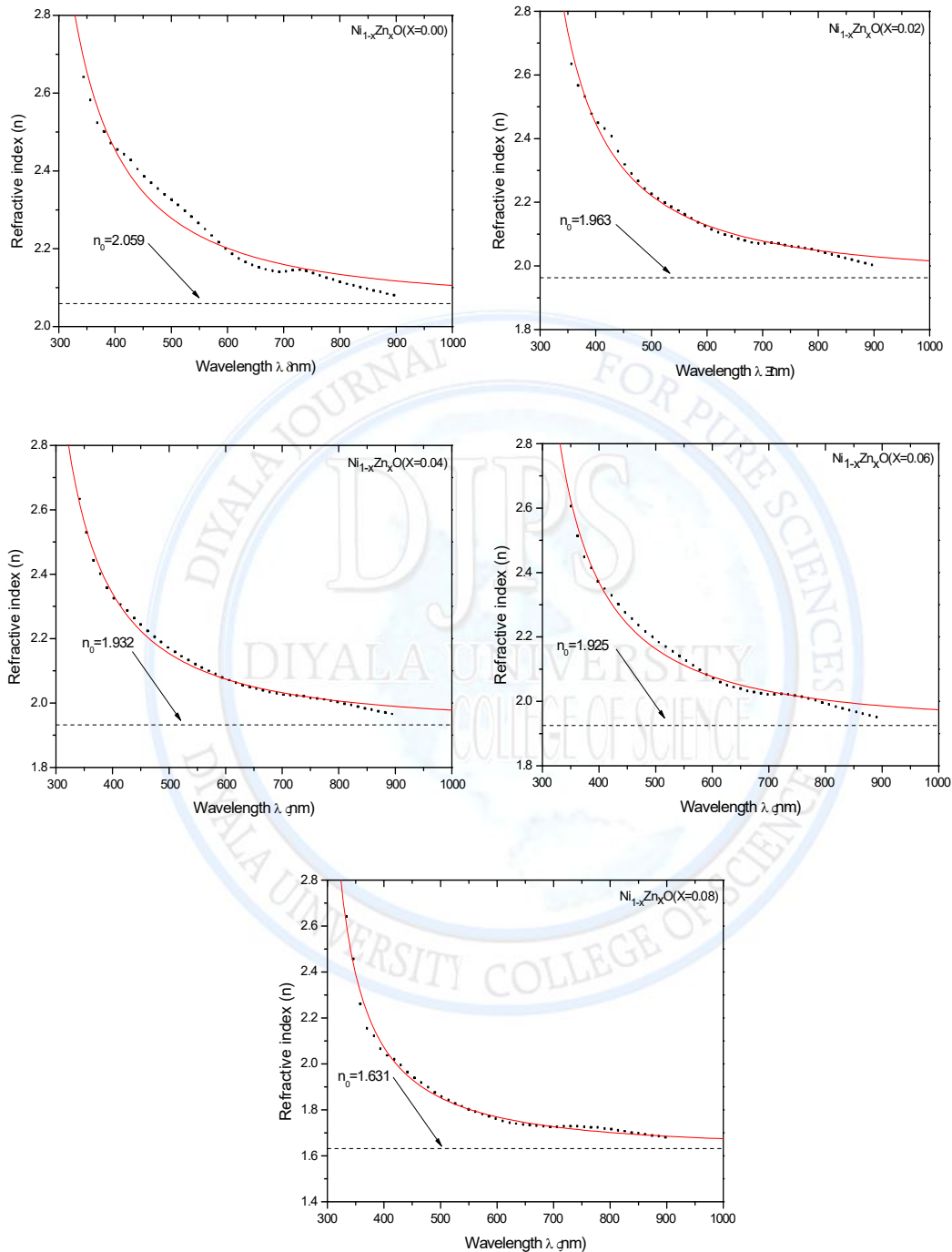
شكل (6) : معامل الانكسار لأغشية أكسيد النيكل غير المشوبة والمشوبة بالخارصين

المحسوب من علاقة Cauchy

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة

التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار



الشكل (7): معامل الانكسار لأغشية أكسيد النيكل غير المشوبة والمشوبة بالخارصين

المحسوب من علاقة Sellmeier

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة
التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

الجدول (3): قيم الثوابت المحسوبة من علاقة Cauchy

Samples	a= n ₀	b (nm ²)	R ²
Pure NiO	1.995	76423.172	0.989
Ni _{0.98} Zn _{0.02} O	1.888	90303.201	0.99
Ni _{0.96} Zn _{0.04} O	1.869	77597.904	0.989
Ni _{0.94} Zn _{0.06} O	1.850	85277.416	0.995
Ni _{0.92} Zn _{0.08} O	1.537	90800.605	0.957

الجدول (4): قيم الثوابت المحسوبة من علاقة Sellmeier

Samples	B	C (nm ²)	n ₀ =(1+B) ^{0.5}	R ²
Pure NiO	3.23868	56871.682	2.059	0.96
Ni _{0.98} Zn _{0.02} O	2.85433	68501.505	1.963	0.989
Ni _{0.96} Zn _{0.04} O	2.73079	62402.995	1.932	0.993
Ni _{0.94} Zn _{0.06} O	2.70375	66234.2	1.925	0.984
Ni _{0.92} Zn _{0.08} O	1.66022	79367.853	1.631	0.988

دراسة الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية $\text{Ni}_{(1-x)}\text{Zn}_x\text{O}$ المحضرة بطريقة

التحلل الكيميائي الحراري

نبيل علي بكر، زياد طارق خضير، ردينه صديق عبد الستار

الاستنتاجات

1. أظهرت نتائج حيود الأشعة السينية أن أغشية أكسيد النيكل (NiO) غير المشوبة والمشوبة بالخارصين (Zn) والمرسبة على قواعد زجاجية والمحضرة بطريقة التحلل الكيميائي الحراري هي ذات تركيب متعدد التبلور ومن النوع المكعبي والطور السائد للنمو هو (111) لجميع نسب التشويب عدا النسبة 0.04% إذ كان الاتجاه السائد هو (200).
2. توجد زيادة في ارتفاع بعض القمم لحالة بعد التشويب مقارنةً بأغشية (NiO) غير المشوبة مع نقصان طفيف في عرض المنحني لمنتصف القمة العظمى (FWHM) بعد النسبة (2%).
3. دلت نتائج القياسات البصرية على زيادة فجوة الطاقة البصرية بزيادة نسبة التشويب بالخارصين ضمن المدى (3.59 - 3.75) eV.
4. ان الأغشية المشوبة بالخارصين ذات نفاذية ثابتة في المنطقة المرئية وأعلى قيمة لها عند نسبة التشويب 8% كانت 88% لذلك تصلح أن تستخدم كنافذة في الخلايا الشمسية.
5. وجد من خلال تطبيق علاقتي (Cauchy) و (Sellmeier) ان معامل الانكسار يقل بزيادة الطول الموجي وهذا يدل على السلوك التفريقي الطبيعي للمادة المحضرة.

المصادر

1. F. Saadaty, A. R. Grayeli, and H. Savaloni, "Dependence of the optical Properties of NiO thin films of film thickness and nano - structure" Journal of Theoretical and Applied physics, Vol. 5, No. 13, P. 22 (2010).
2. A. M. Bakry and S. A. Mahmud, "Effect of substrate Temperature on the optical dispersion of sprayed Nickel oxide thin films", Saudi International Electronics, Communications and Photonics Conference (SIECPC), Riyadh, P. 1, (2011).
3. Abu-Yaqoub, "Electrochromic Properties of Sol-gel NiO- based films", M.Sc Thesis, Al-Najah National University, Nablus, (2012).
4. P. S. Patil, and L. D. kadam, "Preparation and characterization of spray nickel oxide (NiO) thin films", Applied surface science, Vol. 199, P. 211, (2002).
5. M. Valko, Morris and M.T.D. Cronin, "Metals, Toxicity and Oxidative Stress", Current Medicinal Chemistry, Vol. 12, P. 1161, (2005).

6. S. M. Sze, "Semiconductors Devises Physics and Technology", Translated to Arabic by F. G. Hayaty and H. A. Ahmed, Baghdad, (1990).
7. K. Kpurushothaman, S. Joseph Antony, and G. Muralidharan, "Optical, structural and electro chromic properties of NiO films produced by sol- gel technique", Solar Energy, Vol. 85, No. 5, P. 978, (2011).
8. Vikas Patil, Pradeep Joshi, Manik Cougule, and Prasad Gods, "electrical and optical properties of NiO thin films", J. Surface Engineered Materials & Advanced Technology, Vol. 1, P. 35, (2011).
9. S. Ilican, and Y. Caglar, "Preparation and characterization of ZnO thin films deposited by sol-gel spin coating method", J. of optoelectronics and advanced materials, Vol. 10, No. 10, P. 2578, (2008).
10. R. Ferro and J. A. Rodriguez, "Study of Some Optical Properties of CdO:F Thin Films", J. Phys. State. Sol. (b), Vol. 220, P. 299, (2000).
11. M. K. Hudait, P. Modak, and S. B. Krupanidhi, "Si incorporation and Burstein–Moss shift in n-type GaAs", Materials Science and Engineering, Vol. 56, P. 1, (1999).
12. A. Escobedo Morales, E. S´anchez Mora, and U. Pal, "Use of diffuse reflectance spectroscopy for optical characterization of un-supported nano structures", J. of Revista Mexicana de fisica, Vol. 53, No. 5, P. 18, (2007).
13. Nabeel A. Bakr, A. M. Funde, V. S. Waman, and M. M. Kamble, "Determination of the optical parameters of a-Si:H thin films deposited by hot wire–chemical vapour deposition technique using transmission spectrum only", PRAMANA-journal-of physics , Vol. 76, No. 3, P. 519, (2011) .
14. Nadir F. Habubi, Nabeel A. Bakr, Sabah A. Salman, "Optical parameters of amorphous selenium deposited by thermal evaporation technique", J. Physical chemistry, Vol. 8, No. 2, P. 54, (2013).