مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد الخامس والعشرون - المجلد الأول - علوم الفيزياء - آذار 2025 م
doi.org/10.52866/esj.2025.01.25.01

دراسة الخصائص البصرية لأوكسيد القصدير المطعم بالألمنيوم المحضر بطريقة الرش الكيميائي الحراري

فاطمة إبراهيم اسماعيل [1*] ، عمار تحسين زكر [2*] ، ذوالفقار علي زكر [3*]
1. قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة الموصل ، العراق
2. قسم الفيزياء ، كلية التربية للعلوم الصرفة ، جامعة الموصل ، العراق
3. قسم الليزر الاطياف ، مركز الليزر والفوتونيات ، جامعة الحمدانية ، نينوى ، العراق
البحث مستل من رسالة ماجستير الباحث الأول.
E-mail1 : fatima.23esp129@student.uomosul.edu.iq E-mail2 : ammar_za24@uomosul.edu.iq
E-mail3 : thoalfiqar.physics@uohamdaniya.edu.iq

مستخلص:

في هذه الدراسة تم استخدام تقنية الرش الكيميائي الحراري في تحضير الاغشية الرقيقة من أوكسيد القصدير (SnO_2) النقية والمشوبة بالألمنيوم (SnO_2:Al). وتهدف هذه الدراسة إلى تأثير التطعيم بالألمنيوم (Al) على الخصائص البصرية للأغشية المحضرة من أوكسيد القصدير. أظهرت الفحوصات البصرية أن جميع الاغشية المحضرة ذات خصائص بصرية جيدة. من خلال النتائج المستحصلة من دراسة منحيات الخصائص البصرية كدالة للطول الموجي عند نسب تطعيم مختلفة لوحظ ازدياد نفاذية الاغشية الرقيقة مع زيادة الطول الموجي بينما ينخفض كل من الامتصاصية (A) ومعامل الانعكاس (R) ومعامل الخمود (K) ومعامل الانكسار (n) وثابت العزل الكهربائي بجزئيه (الحقيقي والخيالي) مع زيادة الطول الموجي. كما لاحظنا من خلال دراسة تأثير نسبة التطعيم بالألمنيوم (Al) على اغشية أوكسيد القصدير SnO_2 النقية انخفاض منحنيات طيف النفاذية ومقدار فجوة النطاق البصري مع زيادة نسبة التطعيم بينما لوحظ ارتفاع منحنيات طيف الامتصاصية (A) الانعكاسية (R) ومعامل الخمود (K) ومعامل الانكسار (n) وثابت العزل الكهربائي بجزئيه (الحقيقي والخيالي) مع زيادة نسبة التطعيم. ان سهولة تغيير الخصائص البصرية للمادة تحت الدراسة تجعل منه مادة واعدة في التطبيقات المختلفة وخصوصا في مجال الإلكترونيات الضوئية.

الكلمات المفتاحية: الرش الكيميائي، الخواص البصرية، أوكسيد القصدير SnO_2، الألمنيوم، اغشية رقيقة، التطعيم.

Study of optical properties of tin oxide doped with aluminum prepared by the thermal chemical spray method

Fatima Ibrahim Ismail [1*] , Ammar Tahseen Zakir [*2] , Thulfiqar Ali Zakir [3*]
1. Department of Physics, College of Education for Pure Sciences, University of Mosul, Iraq
2. Department of Physics, College of Education for Pure Sciences, University of Mosul, Iraq
3. Department of Laser Spectra, Laser and Photonics Center, Al-Hamdaniya University, Nineveh, Iraq

Abstract :

In this study, the spray pyrolysis method was employed to prepare pure and aluminum doped Tin oxide (SnO_2) thin films. The aim of the study encompasses the investigation of the doping effect on the optical properties of the prepared films. The UV-Vis results indicated an increase in the transmittance as a function of wavelength with increasing the doping as a general trend while this is not the case with other related parameters such as absorption, Reflection coefficient, complex refractive index and complex dielectric function respectively. The results also revealed that the absolute values of the transmittance and the energy gap reduce when boosting the doping level. In contrast, this is not the case for other optical properties where their values increase with increasing the doping concentration. The cost effectiveness, stability and simple optical properties modification (doping) make the Tin oxide and its derivatives as a promising candidates in the application of optoelectronic devises.

Keywords: chemical spraying, optical properties,(SnO_2)Tin oxide, Aluminum(AL), Thin films, The Doping

1. المقدمة Introduction

تعتبر اكاسيد المعادن الموصلة الشفافة فئة استثنائية للمواد المستخدمة في تصنيع الخلايا الشمسية حيث تسمح بدخول الضوء الى الخلية الشمسية وتعمل على تجميع الطاقة المتحولة، ويتم الحصول على اكاسيد المعادن الموصلة الشفافة من انواع مختلفة من المواد التي تمتلك شفافية وتوصيلية جيدة [1].

ان تطبيقات اكاسيد المعادن الموصلة الشفافة لا يقتصر فقط على الخلايا الكهروضوئية، حيث يتم توظيفها ايضا في اجهزة الاستشعار، البطاريات، المكثفات الفائقة، والتقنيات الكهروضوئية الاخرى وما الى ذلك [2].

أوكسيد القصدير SnO_2 المشوب بأوكسيد الانديوم In2O3 تعتبر من المواد الاكثر استخداما من الناحية التجارية، لكن الانديوم تصنف ضمن المواد النادرة والسامة مما يدفع البحث عن البديل الاكثر استقرارا واماناً [3].

من جانب اخر، يعتبر أوكسيد الخارصين ZnO فعالا ضمن مدى الطيف الكهرومغناطيسي الفوق بنفسجي وغير فعال ضمن المديات الاخرى. بالإضافة الى كونه فان اوكسيد الخارصين معرضا للتأكل الضوئي (photo corrosion)[4]. هذه الأمور تَحدُ من تطبيقات اوكسيد القصدير SnO_2 المشوب بأوكسيد الانديوم In2O3 واوكسيد الخارصين المطعم بالألمنيوم.

أوكسيد القصدير (SnO_2) عبارة عن شبه موصل شفاف ذات فجوة نطاق واسعة ومباشرة تتراوح بين eV (3.66 – 3.95) من النوع n، وقد أظهرت الدراسات أن لديه إمكانات كبيرة في تطبيقات استشعار الغاز، وشاشات العرض (ثنائيات البلور السائلة)، والنوافذ الذكية والطلاءات المقاومة للتآكل والخلايا الكهروضوئية الرقيقة [5]. من المعروف أن أشباه الموصلات من II إلى VI تتمتع بشفافية بصرية عالية في الطيف المرئي ولكنها عاكسة بدرجة كبيرة لضوء الأشعة تحت الحمراء وتمتلك توصيلية عالية مما يجعلها مفيدة للحفاظ على الطاقة. يتبلور أوكسيد القصدير SnO_2 في بنية الروتيل الرباعي ويطلق على شكله المعدني اسم حجر القصدير مع Sn باعتباره الخام الرئيسي، ولا يمتلك أي خصائص لونية أو مغناطيسية [6]. في حين أن وجود عيوب جوهرية مثل شواغر الأوكسجين يجعل SnO_2 غير المشوب شبه موصل من النوع n [5]، يمكن زيادة موصلية النوع n لهذه المادة عن طريق عناصر المحفزات مثل Ta تانتالوم، Sb انتيمون [7] ، F الفلور. ومع ذلك، فقد أثبت باحثون آخرون أنه مع المحفزات المعدنية، مثل Al الالمنيوم ، In الانديوم [8] ، Zn الخارصين ، Fe الحديد [9]، يظهر SnO_2 سلوكًا من النوع p. بينما بالنسبة لتصنيع أجهزة أشباه الموصلات القائمة على SnO_2، يعد كلا النوعين n وp عالي الجودة من أوكسيد القصدير SnO_2 ضروريين و يعد الألمنيوم أحد الشوائب المستقبلة التي تعمل بمثابة كاتيون تكافؤ أقل في أوكسيد القصدير SnO_2 ويمكن أن تسبب موصلية من النوع p.

تم استخدام الأغشية الرقيقة لأوكسيد القصدير (SnO_2) الشفاف على نطاق واسع في العديد من المجالات نظرًا لخصائصها الفريدة مثل الموصلية الكهربائية العالية والنفاذية العالية في المنطقة المرئية وتمتد الى المنطقة فوق البنفسجية[10]. تعتمد خصائصه على نسبة التطعيم وعلى وجود

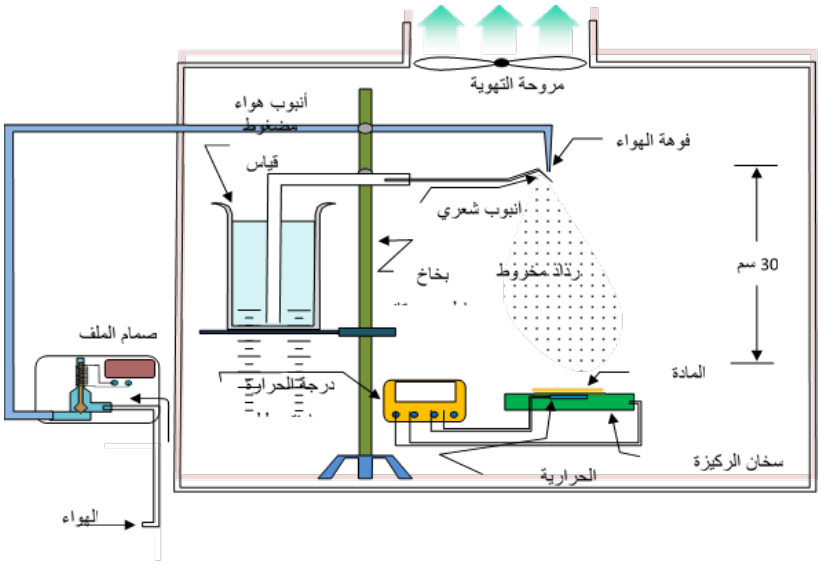
شواغر الأوكسجين من عدمه وطبيعة وجود الشوائب[11]. لقد عمل العديد من الباحثين على دراسة الخصائص الفيزيائية للأغشية الرقيقة SnO_2 من خلال استخدام مواد إشابة مختلفة مثل الفلور والأنتيمون والزنك والنيكل والألمنيوم وما إلى ذلك. اعتمادًا على المادة المشوبة، تظهر الاغشية الرقيقة SnO_2 موصلية من النوع n أو p. يتم تصنيع أغشية SnO_2 الرقيقة بطرق مختلفة، مثل sol-gel [12]، الترذيذ بالترددات الراديوية (Radio Frequency Sputtering) [13]، ترسيب البخار الكيميائي، الرش الحراري [14]، وتقنية ترسيب الليزر النبضي (PLD). SnO_2 فقد تمت دراسة تأثيرات زيادة تركيز Al على الخواص البصرية لأغشية أوكسيد القصدير SnO_2 المرسبة بالتحلل الحراري [15]. تم تصنيع اغشية SnO_2 النانوية المطعمة بالألمنيوم بطريقة الرش الكيميائي الحراري بالرش عند درجة حرارة ترسيب تبلغ 400 درجة مئوية.

ومن الواضح أن خصائص المادة تعتمد على تقنية الترسيب والتلدين ونوع ومستوى التطعيم حيث ان هناك حاجة إلى مزيد من البحث لتحسين خصائص أغشية SnO_2 وتقييم مدى استغلال هذه الاغشية في تطبيقات الأجهزة المختلفة [16] اذ تم دراسة تراكيز المختلفة من الالمنيوم وبنسبة ٪ (7، 5، 3)، على الخصائص البصرية للأغشية المحضرة من أوكسيد القصدير SnO_2. هذه الطرق تمكن من تعديل او التلاعب بالخواص البصرية والكهربائية لهذه الاكاسيد تبعاً للتطبيق المستهدف وبالتالي فإن الهدف من هذا البحث هو تعديل الخواص البصرية لمادة اوكسيد القصدير كمادة فعالة في التطبيقات الكهروضوئية.

2. الجزء العملي Experimental procedure

تم تحضير أغشية رقيقة مادة (SnO_2) النقي والمطعم بالألمنيوم باستخدام كلوريدات القصدير المائية ($SnCl_4.5H_2O$) بنقاوة (97.5) ٪ ذات الوزن الجزيئي (350.58 g/mol). وهي عبارة عن مسحوق أبيض سريعة الذوبان بالماء والمجهزة من شركة ((General Drug House (P) (Ltd الهندية وبمولارية (0.1 M). حيث تمت اذابة الكلوريدات في (200 mL) من الماء المقطر. وقد تم مع تسخين القواعد الزجاجية التي رسب عليها المحلول الى درجة حرارة (400 C). اما للحصول على محلول أوكسيد الالمنيوم فتم باستخدام كلوريدات الالمنيوم المائية ($AlCl_3.6H_2O_2$) وهي عبارة عن مسحوق ابيض مجهز من قبل الشركة الهندية (THOM-AS BAKER) وبدرجة حرارة الغرفة. تمت اذابة (2.666 g) من كلوريدات الالمنيوم المائية في (200 mL) من الماء المقطر. ومن ثم تم ترسيب كل من المحلولين بشكل نقي باستخدام جهاز الرش الكيميائي الحراري المحلي الصنع وكما موضح في الشكل (1) وبمسافة بين القاعدة وجهاز الرش مقدارها (30cm). حيث تم عملية الترسيب بعد تنظيف القواعد الزجاجية بمادة الاسيتون والايثانول والماء المقطر ومن ثم تجفيفها للحصول على قواعد خالية من الشوائب. تم رش المحلول بمعدل (10 sec) وتوقف لمدة بعد كل فترة زمنية مقدارها (2 mint). وللتطعيم بأوكسيد الألمنيوم وبنسب ٪ (3،5،7) توضع هذه النسب التي تم اعداها وبالنسب المطلوبة في قنينة جهاز الرش لترسيبها على القواعد الزجاجية التي تم تسخينها مسبقا الى درجة حرارة (400 C). وبعد الحصول على الغشاء المطلوب يتم فحص الخواص البصرية باستخدام

جهاز (UV-Vis) ومن خلاله يتم حساب الثوابت البصرية المتمثلة بالنفاذية والامتصاصية ومعامل الامتصاص ومعامل الانكسار ومعامل الخمود والانعكاسية وثابت العزل (الحقيقي والخيالي) وحساب فجوة الطاقة للانتقالات الالكترونية المباشرة. إذ يتم إجراء جميع هذه الحسابات بالاعتماد على طيفي الامتصاصية والنفاذية كدالتين للطول الموجي. وتم فحص سمك الغشاء بطريقة (Cross-Section) وتبين ان سمك الغشاء حوالي (200 nm).



الشكل (1): الإعداد التجريبي لتقنية الانحلال الحراري بالرش الكيميائي

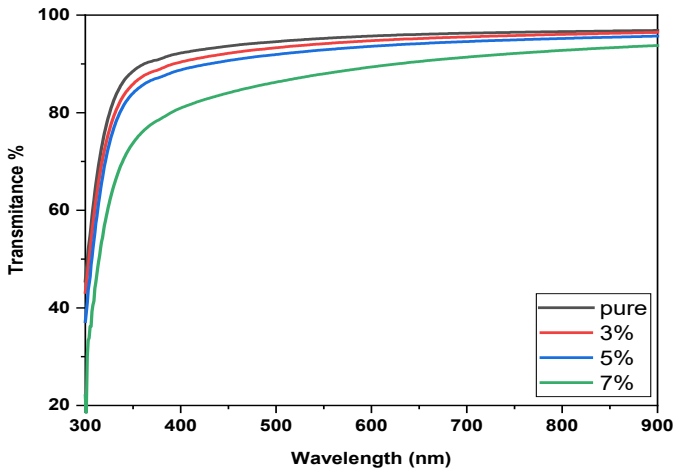
3. النتائج والمناقشة

Results and discussion

3-1 النفاذية Transmittance

تم حساب النفاذية من خلال العلاقة (1) [17] واظهر الشكل (2) أطياف النفاذية للأغشية الرقيقة SnO_2 النقية والمشوبة بنسب (3،5،7) ٪ من Al. يتبين من الشكل أن جميع الاغشية الرقيقة لها قيمة أعلى نفاذية في المنطقة المرئية للضوء والمنطقة القريبة من الأشعة تحت الحمراء، تبلغ قيمتها حوالي 80٪الى 90٪. ويبين الشكل ايضاً ان النفاذية تعتمد على نسبة تطعيم الاغشية بالألمنيوم. كما يمكن ملاحظة ان منحني طيف النفاذية كدالة للطول الموجي تنخفض بشكل واضح مع زيادة نسبة التطعيم بالألمنيوم Al مقارنة بالأغشية النقية SnO_2. يعزى هذا الانخفاض الى زيادة الامتصاص البصري للفوتونات الضوئية عند النسب المذكورة من التطعيم بالألمنيوم. كما يمكن أن يكون انخفاض النفاذية في الأغشية الرقيقة SnO_2 المشوبة بسبب زيادة مراكز التشتت (حدود الحبيبات، والعيوب البلورية). مسبباً ضعف عملية التبلور والذي بدوره يزيد من مراكز التشتت عند زيادة نسبة الالمنيوم [18]. وعملية التشتت هذه تؤدي إلى امتصاص او انتشار الضوء خلال الاغشية الرقيقة بصورة اكثر. تتفق نتائج أطياف النفاذية كدالة للطول الموجي للأغشية مع النموذج الذي تمت دراسته من قبل الباحث [19].

$$T = e^{-2.303A} \ldots\ldots\ldots (1)$$



الشكل (2): طيف النفاذية كدالة للطول الموجي
لأغشية أوكسيد القصدير (SnO_2) النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب (3،5،7)٪.

3-2 الامتصاصية Absorbance

تم حساب الامتصاصية من خلال العلاقة (2) [20]، كدالة للطول الموجي كما مبين في الشكل(3) والذي يظهر تناقصاً في مقدار الامتصاصية مع زيادة الطول الموجي ويبين الشكل(3). وبالمقارنة مع طيف الامتصاص لغشاء Sno_2 لوحظ ان هناك زيادة تدريجية في امتصاص الأغشية الرقيقة على مدى الطول الموجي من (300-900mn) مع زيادة نسبة التطعيم بالألمنيوم Al للمادة الأساس لغشاء SnO_2. علاوة على ذلك، أظهرت حافة الامتصاص لأغشية SnO_2 إزاحة تدريجيًا نحو المنطقة تحت الحمراء مع زيادة تركيز Al [21].

$$A = I_A / I_0 = e^{-\alpha t} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

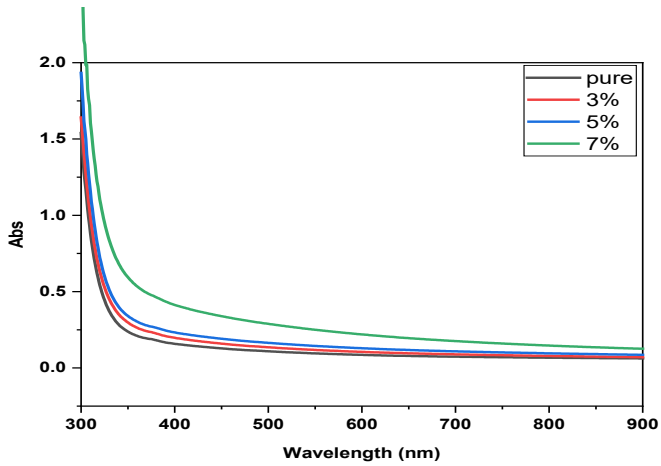
حيث:

A: الامتصاصية

I_A ، I_o : شدة الضوء النافذ والساقط على الغشاء

α : معامل الامتصاص (cm^{-1})

t: سمك الغشاء



شكل (3) طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لأغشية أوكسيد القصدير (SnO2) النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب (3،5،7)٪

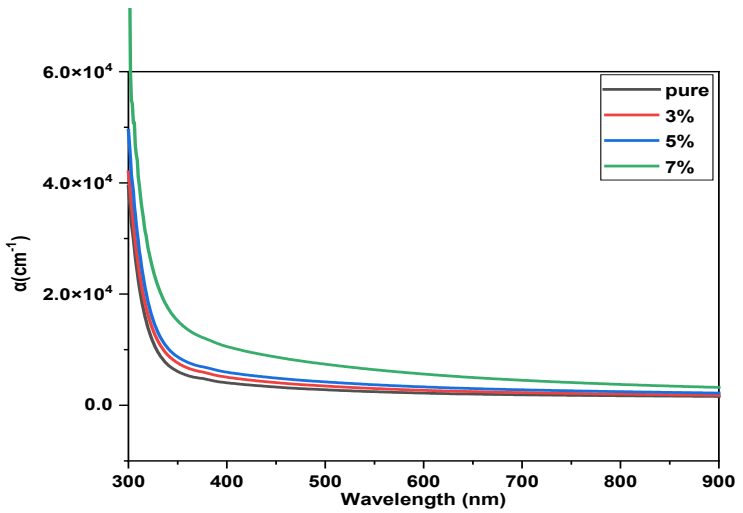
3-3 معامل الامتصاص
Absorption Coefficient (α)

تم حساب معامل الامتصاص باستخدام المعادلة (3) [22]. ويبين الشكل (4) تغير معامل الامتصاص (α) كدالة للطول الموجي لأغشية (SnO_2) النقية والمطعمة بالألمنيوم (Al) لنسب التطعيم ٪ (3،5،7) ضمن المدى (300-900nm). يمكن أن نستنتج من خلال منحني معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي أن قيم معامل الامتصاصية (α) لغشاء SnO_2 صغيرة في مدى المنطقة المرئية وأيضًا مستقرة وعندما تمت إضافة Al إلى SnO_2 وزيادة تركيزها تدريجياً من (3-7)٪، زادت قيم α أيضاً وانخفض نطاق ثبوت المنحني في المنطقة المرئية بشكل طفيف. ومن خلال منحني معامل الامتصاص ايضاً اعتماد قيم α على الطول الموجي وعلى تركيز الشوائب المضافة. وقد لوحظ ايضاً ان طبيعة منحني معامل الامتصاص لم تتغير بإضافة الشوائب ولكن نلاحظ أن عملية التطعيم أدت إلى زيادة قيم معامل الامتصاص للأغشية المطعمة عما كانت عليه قبل التطعيم كما مبين في الجدول (1). ويعود سبب هذه الزيادة في قيمة معامل الامتصاص إلى أن التطعيم بالألمنيوم (Al) أدى إلى توليد مستويات مانحة داخل فجوة الطاقة الممنوعة والقريبة من حزمة التوصيل وهذا بدوره زاد من احتمالية امتصاص الفوتونات ذات الطاقات الواطئة.

$$\propto = \frac{2.303A}{t} \quad \text{.....(3)}$$

الجدول (1): قيم النفاذية (T) ومعامل الامتصاص (∝) لأغشية أوكسيد القصدير (SnO_2) النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب (3،5،7) ٪ عند طول موجي (380nm)

Sample	%T	α (cm^{-1})
SnO_2 Pure	91.1	4657
$SnO_{2\ 0.97}Al_{0.03}$	89.07	5783
$SnO_{2\ 0.95}Al_{0.05}$	87.36	6755
$SnO_{2\ 0.93}Al_{0.07}$	78.86	9873



الشكل (4): معامل الامتصاص كدالة للطول الموجي لأغشية أوكسيد القصدير (SnO2) النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب (3،5،7)٪.

3-4 فجوة الطاقة البصرية Energy band Gap

من المعروف أن العلاقة بين معامل الامتصاص (α) وطاقة الفوتون الساقط (hυ) التي تقدمها علاقة Tauce تسمح لنا بتقدير قيم طاقة فجوة الطاقة البصري (Eg) للأغشية الرقيقة [23]

$$\alpha h\nu = \beta(h\nu - E_g)^r \quad \text{.....(4)}$$

حيث: β: ثابت يعتمد على طبيعة المادة

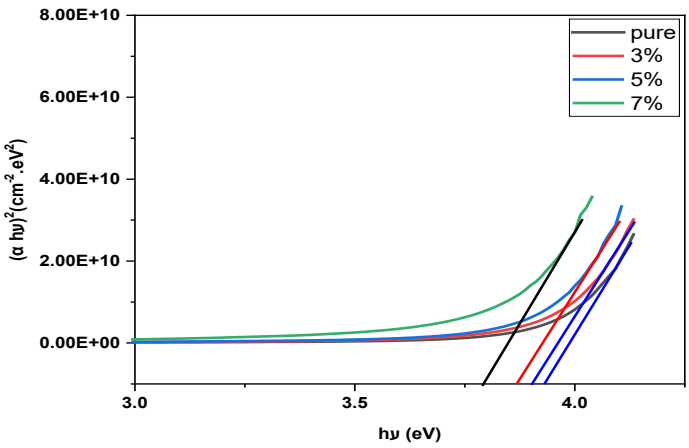
hν : طاقة الفوتون الساقط (eV).

Eg : فجوة الطاقة r: مرتبة الانتقال البصري وتعتمد على نوع الانتقال الالكتروني .

تم توضيح قيم فجوة النطاق البصري للأغشية الرقيقة SnO_2 والمطعمة بالألمنيوم في الجدول (2). وتتفق قيم فجوة النطاق البصري التي تم الحصول عليها للأغشية الرقيقة SnO_2 المطعمة في العمل الحالي بشكل جيد مع القيم المذكورة في [24]. يمكن ملاحظة أن فجوة النطاق (Eg) للأغشية الرقيقة المصنعة SnO_2 تتناقص عندما يزيد معدل تطعيم الألمنيوم من 3٪ إلى 5٪ وإلى 7٪. يمكن تفسير هذا الانخفاض من خلال دراسات أخرى أبلغت عن سلوك مماثل [25]. يمكن حساب فجوة الطاقة المحضورة من تقاطع المماس للعلاقة بين طاقة الفوتون (hυ) والمقدار ^{2} مع محور (hυ) والذي يقابل حافة الامتصاص للغشاء المحضر والتي تعرف اول هبوط في منحنى الامتصاصية والتي تقابل ادنى طاقة يحتاجها الالكترون للانتقال من حزمة التكافوء الى حزمة التوصيل ذو الطاقة (hυ) والتي تساوي فجوة الطاقة المحظورة للمادة المحضرة (الغشاء) والتي تقابل طول موجة القطع وتحديدا في منطقة بريليون للمادة. ويمكن ايضاً تفسير النقصان في فجوة الطاقة مع زيادة نسبة التطعيم بالألمنيوم بأنه يعود الى سببين رئيسيين أولهما هو زيادة في الحجم الحبيبي بعد إضافة الشوائب عن الحجم الاعتيادي قبل التطعيم، والسبب الاخر هو ان عملية إضافة الشوائب تؤدي الى تكوين مستويات طاقة ثانوية داخل فجوة الطاقة المحضورة وأخيرًا يمكن استخدام تطعيم الأغشية الرقيقة SnO_2 المطعمة بـ Al لتعزيز توصيلها الكهربائي وتقليل تركيز الفجوات.

الجدول (2) قيم فجوة الطاقة البصرية
للانتقالات المباشرة لأغشية أوكسيد القصدير (SnO_2) النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب (3،5،7) ٪.

Sample	SnO_2 Pure	Al 3%	Al 5%	Al 7%
Eg (eV)	3.94	3.92	3.88	3.80



الشكل (5): قيم فجوة الطاقة الممنوعة للانتقالات المباشرة لأغشية أوكسيد القصدير (SnO_2) النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب (3،5،7) ٪

3-5 معامل الخمود Extinction Coefficient

تم حساب معامل الخمود (k) للأغشية الرقيقة SnO_2 النقية والمطعمة بالألمنيوم (Al) باستخدام قيم معامل الامتصاص والطول الموجي بالعلاقة التالية [26]:

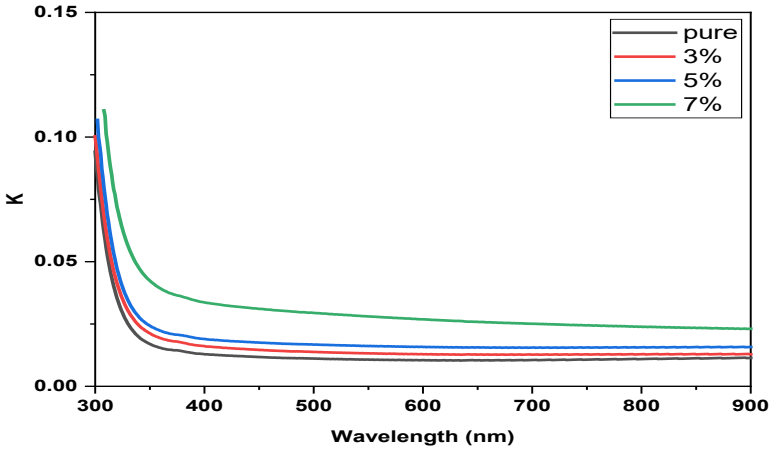
$$k = \alpha\lambda/4\pi \ldots\ldots\ldots (5)$$

حيث ان:

K: معامل الخمود λ: الطول الموجي

ويمكن وصف معامل الخمود بأنه كمية الطاقة التي تمتصها الكترونات المادة من مجموع طاقة فوتونات الاشعاع الساقط على السطح ويمثل مقدار التوهين الحاصل للموجات الكهرومغناطيسية عند مرورها خلال غشاء رقيق والذي يربط بمعامل الامتصاص والطول الموجي وفق المعادلة (5).

وكما يبين الشكل (6) تباين معامل الخمود للأغشية الرقيقة SnO_2 النقية والمطعمة كدالة للطول الموجي. يتبين أن قيم معامل الخمود تتناقص في مدى الطول الموجي (350-300 nm) ثم تزداد قليلاً نحو الأطوال الموجية الأطول. بينما يزداد مقدار معامل الخمود مع زيادة نسبة التطعيم وتعزى هذه الزيادة في معامل الخمود إلى زيادة معامل الامتصاص بسبب الانتقالات الإلكترونية المباشرة في منطقة حافة الامتصاص نتيجة لزيادة مراكز التشتت مع زيادة نسبة التطعيم. كما يمكن ان يعزى سبب هذه الزيادة الى المستويات الموضعية المانحة المتكونة داخل فجوة الطاقة التي أدت إلى زيادة معامل الخمود مما يدل على حدوث انتقالات الكترونية مباشرة وهذا يتفق مع دراسة الباحث [26].



الشكل (6): معامل الخمود كدالة للطول الموجي لأغشية أوكسيد القصدير النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب ٪(3،5،7)

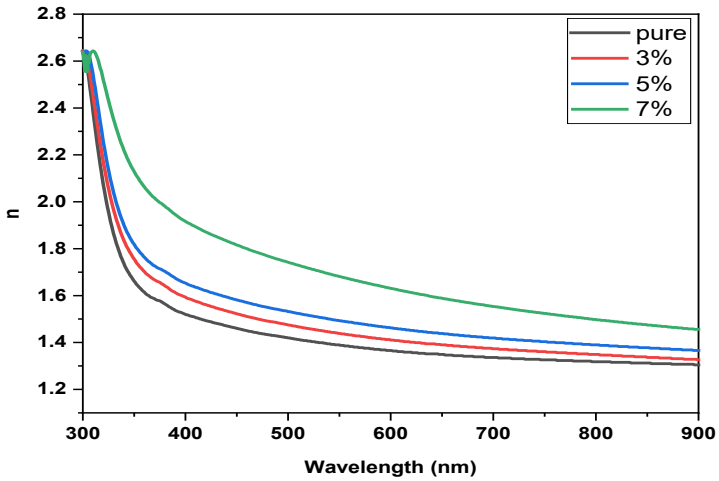
3-6 معامل الانكسار Refractive Index (n)

تم حساب معامل الانكسار وفق العلاقة (6) [27] وكما مبين في الشكل (7). نلاحظ من الشكل تغير معامل الانكسار مع الطول الموجي لأغشية أوكسيد القصدير SnO_2 النقية والمطعمة بالألمنيوم عند نسب مختلفة ٪(3،5،7) ضمن المدى (300-900nm) ونلاحظ من الشكل ايضاً أن طبيعة منحني معامل الانكسار مشابهة تقريباً لطبيعة منحني الانعكاسية ذلك لارتباط معامل الانكسار مع الانعكاسية. وكما نلاحظ من الشكل ايضاً إن سلوك منحني معامل الانكسار لغشاء أوكسيد القصدير النقي(SnO_2)

يكون ثابت تقريبا مع زيادة الطول الموجي ثم ينخفض في مدى الاطوال الموجية المقابلة لحافة الامتصاص الأساسية، أما بالنسبة لسلوك منحني الأغشية المشوبة فان معامل الانكسار يزداد تدريجيا مع نسبة التطعيم. كما يتبين أن هناك تناسباً عكسياً بين معامل الانكسار والطول الموجي.

$$n = \left[\left(\frac{1+R}{1-R}\right)^2 - (k^2+1)\right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots\dots (6)$$

يُظهر منحني معامل الانكسار سلوكًا مغايرا في المناطق المرئية والقريبة من الأشعة تحت الحمراء بين القيم القصوى والدنيا البالغة 1.55 و2.55 على التوالي.



الشكل (7): معامل الانكسار كدالة للطول الموجي لأغشية أوكسيد القصدير النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب ٪(3،5،7)

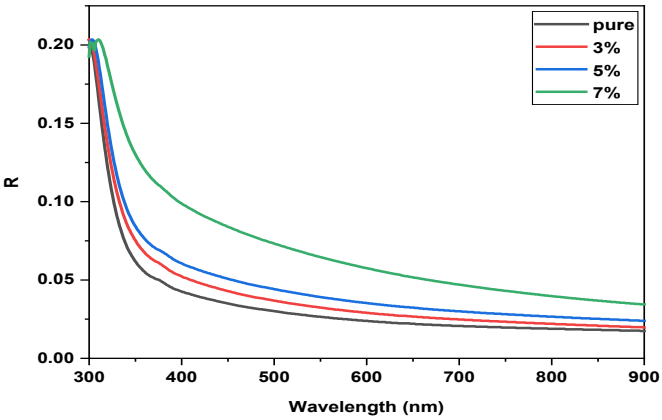
3-7 الانعكاسية Reflecivite

يلعب مؤشر الانعكاس ومعلمات التشتت الأخرى دورًا مهمًا في تحديد الخواص الإلكترونية للمواد شبه الموصلة، وبالتالي، فإنها تأخذ في الاعتبار المعلمات الرئيسية لتصميم الجهاز [28]. لذلك من المهم دراسة تأثير التطعيم بالألمنيوم على معامل الانعكاس للعينات المدروسة. تم تحديد الانعكاسية (R) للأغشية الرقيقة SnO_2 المطعمة بالألمنيوم بالعلاقة (7) [29]:

$$R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} \dots\dots\dots\dots\dots (7)$$

يوضح الشكل (8) اعتماد الانعكاسية (R) على الطول الموجي للأغشية الرقيقة SnO_2 المطعمة بالألمنيوم وتظهر الانعكاسية سلوكاً منتظماً ضمن الطيف المرئي والمنطقة القريبة من الأشعة تحت الحمراء. إذ نلاحظ أن الانعكاسية تتناقص بشكل حاد مع زيادة الطول الموجي في المنطقة فوق البنفسجية (القصيرة) من (300 – 380 mn) تقريباً. وتفسير ذلك أن الامتصاص يكون اعلى ما يمكن عند الطاقات الفوتونية الأعلى من قيمة فجوة الطاقة , ولكون الموجات فوق البنفسجية تكون ذات عمق اختراق اقل من الموجات الأطول فتمتص عند المناطق القريبة من السطح لذلك فأنها تمتلك انعكاسية اقل في هذه المناطق. وعند التشويب وللنسب كافة نلاحظ أن الانعكاسية تبدأ بالزيادة

وهذا يبدو واضحا عند نسب التشويب المختلفة إذ نلاحظ أن ذروة المنحني تزاح باتجاه الطاقات الفوتونية الواطئة مما يدل على نقصان فجوة الطاقة بزيادة نسب التطعيم.



الشكل (8): الانعكاسية كدالة للطول الموجي لأغشية أوكسيد القصدير (SnO_2) النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب (3،5،7)٪.

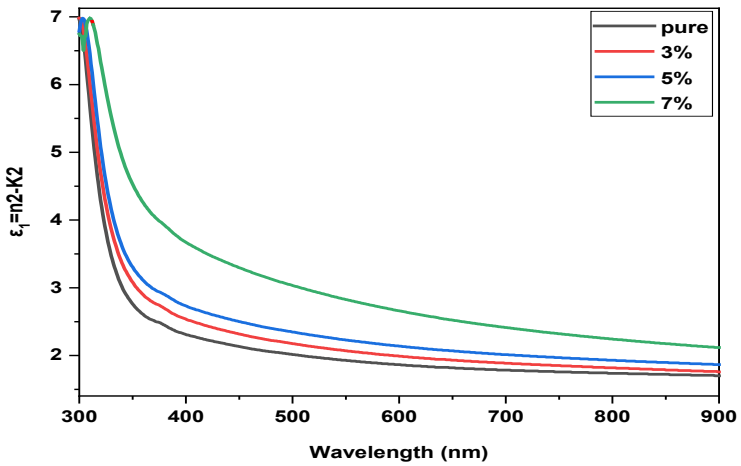
3-8 ثابت العزل الكهربائي Dielectric Constant

تم تحديد معاملات العزل الكهربائي لأغشية SnO_2 النقية والمطعمة باستخدام الصيغ التالية [30]:

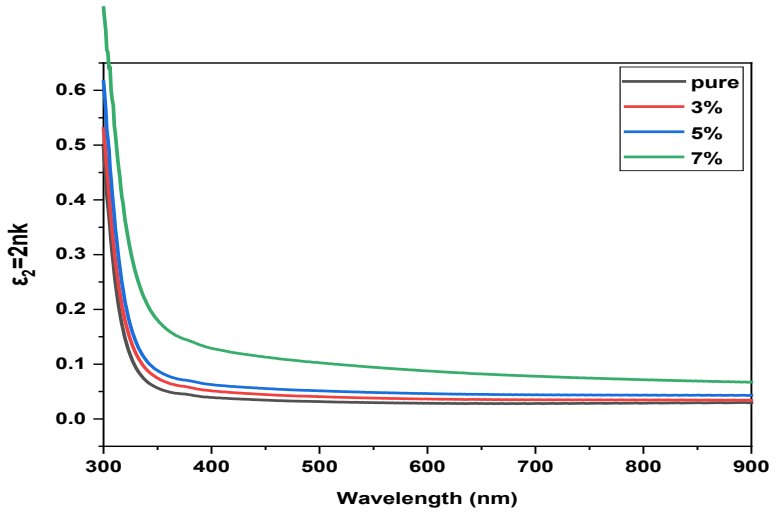
$$\varepsilon r = n_o^2 - k_o^2 \ldots\ldots\ldots (8)$$

$$\varepsilon i = 2\, n_o\, k_o \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

الشكلان (9 و10) يوضحان القيم الحقيقية والخيالية لثابت العزل الكهربائي اعتماداً على الطول الموجي للأغشية المحضرة باستخدام تقنية الرش الكيميائي الحراري. يظهر الجزء الحقيقي من ثابت العزل الكهربائي سلوكًا مشابهًا لمعامل الانكسار n في المناطق المرئية والقريبة من الأشعة تحت الحمراء بين القيمتين القصوى والدنيا البالغة (3.25 و6.85) على التوالي. ومن ناحية أخرى فإن الجزء الخيالي من ثابت العزل الكهربائي يقل عند زيادة الطول الموجي. بالإضافة إلى ذلك فإن زيادة نسبة التطعيم بالألمنيوم (Al) والمضافة الى المادة الأساس لغشاء SnO_2 تؤدي إلى زيادة ثابت العزل الكهربائي.



الشكل (9): الجزء الحقيقي لثابت العزل الكهربائي كدالة للطول الموجي لأغشية أوكسيد القصدير النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب ٪(3،5،7).



الشكل (10): الجزء الخيالي لثابت العزل الكهربائي كدالة للطول الموجي لأغشية أوكسيد القصدير النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب ٪(3،5،7)

الجدول (3) قيم معامل الخمود ومعامل الانكسار وثابت العزل الكهربائي بجزئية الحقيقي والخيالي لأغشية أوكسيد القصدير النقية والمطعمة بالألمنيوم بنسب ٪(3،5،7) المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري عند طول موجي (330nm).

Sample	K	n	ε_1	ε_2
Pure SnO_2	0.025	1.86	13.124	0.565
Al 3%	0.030	1.96	13.620	0.633
Al 5%	0.034	2.03	14.014	0.708
Al 7%	0.056	2.35	14.310	0.824

4- الاستنتاجات

تم في هذه الدراسة توظيف تقنية الرش الكيميائي الحراري لتحضير اغشية SnO_2 النقية والمطعمة بنسب مختلفة من الالمنيوم. بينت النتائج ان هناك تحسن في الخواص البصرية لجميع الاغشية المحضرة بزيادة نسبة التطعيم بالألمنيوم (Al). والتي تظهر انخفاض في مقدار فجوة الطاقة مع زيادة نسبة التطعيم. وبينت النتائج ايضاً ان هذه الاغشية كانت ذات نفاذية جيدة في المنطقة المرئية والقريبة من الاشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي. كما لاحظنا تغير كل من معامل الامتصاص (α) والانعكاسية (R) ومعامل الخمود (K) ومعامل الانكسار (n) وثابتي العزل الكهربائي (الحقيقي والخيالي) تبعاً لتغير الطول الموجي، كما لاحظنا ان هناك زيادة في ارتفاع منحني الامتصاصية ومنحني الانعكاسية ومنحني معامل الخمود ومنحني معامل الانكسار ومنحنى ثوابت العزل مع زيادة نسبة التطعيم بينما تنخفض فجوة الطاقة المحضورة تبعاً لذلك. ومن خلال هذه الدراسة تبين ان الاغشية الرقيقة المحضرة بأنها واعدة في التطبيقات الالكترونية والبصرية اذ انها تمتلك فجوات طاقة بصرية من النوع المباشر ونفاذية مناسبة وامتصاصية جيدة تؤهلها للعمل في هذه التطبيقات.

المصادر

[1] Chen, D.i., Liu, Z., Liang, B.o., Wang, X., Shen, G.,)2012(. Transparent metal oxide nanowire transistors. Nanoscale 4 (10), 3001

[2] Okaro, C. A., Okwundu, O. S., Tagbo, P. C., Ugwuoke, C. O., Ezugwu, S., & Ezema, F. I. (2021). Nanostructured metal oxide-based electrode materials for ultracapacitors. In Chemically Deposited Nanocrystalline Metal Oxide Thin Films: Synthesis, Characterizations, and Applications (561-599). Cham: Springer International Publishing

[3] Porcar, S., González, J., Fraga, D., Stoyanova Lyubenova, T., Soraca, G., & Carda, J. B. (2021). Effect of Al, Ga, and In Doping on the Optical, Structural, and Electric Properties of ZnO Thin Films. Applied Sciences, 11(21), 10122.

[4] Albiter, E., Barrera-Andrade, J. M., Rojas-García, E., & Valenzuela, M. A. (2019). Recent advances of nanocarbon-inorganic hybrids in photocatalysis. Nanocarbon and its Composites, 521-588. ALBI

[5] Sayeed, M. A., & Rouf, H. K. (2021). Al-doped SnO2 thin films: impacts of high temperature annealing on the structural, optical and electrical properties. Materials Research and Technology, 15, 3409-3425.

[6] Shuo, W. U., Qingnan, Z. H. A. O., Dengkui, M., & Yuhong, D. O. N. G. (2010). Synthesis and characterization of Sb-doped SnO2-(CeO2-TiO2) composite thin films deposited on glass substrates for antistatic electricity and UV-shielding. Rare Earths, 28, 189-193.

[7] Bissig, B., Jäger, T., Ding, L., Tiwari, A. N., & Romanyuk, Y. E. (2015). Limits of carrier mobility in Sb-doped SnO2 conducting films deposited by reactive sputtering. Apl Materials, 3(6).

[8] Ravichandran, K., & Thirumurugan, K. (2014). Type inversion and certain physical properties of spray pyrolysed SnO2: Al films for novel transparent electronics applications. Materials Science & Technology, 30(2), 97-102.

[9] Ravichandran, K., Thirumurugan, K., Begum, N. J., & Snega, S. (2013). Investigation of p-type SnO2: Zn films deposited using a simplified spray pyrolysis technique. Superlattices and Microstructures, 60, 327-335.

[10] Kirthika, V., Porchelvi, S., Pakiyaraj, K., & Karthik, K. (2020). Preparation and characterization of Al doped SnO2 nanocrystalline thin films by spray pyrolysis technique. Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol., 8, 183-191.

[11] Karthik, K., Revathi, V., & Tatarchuk, T. (2018). Microwave-assisted green synthesis of SnO2 nanoparticles and their optical and photocatalytic properties. Molecular Crystals and Liquid Crystals, 671(1), 17-23.

pyrolysis technique for barrier layers in solar cells. Applied Physics A, 123, 1-7.

[19] Sambasivam, S., Maram, P. S., Gopi, C. V. M., & Obaidat, I. M. (2020). Effect of erbium on the structural, morphological, and optical properties of SnO2 thin films deposited by spray pyrolysis. Optik, 202, 163596.

[20] Stenzel, O. (2015). The physics of thin film optical spectra (366). Berlin/Heidelberg, Germany: Springer.

[21] Dhatarwal, P., & Sengwa, R. J. (2021). Investigation on the optical properties of (PVP/PVA)/Al2O3 nanocomposite films for green disposable optoelectronics. Physica B: Condensed Matter, 613, 412989.

[22] Giulio, M. D., Micocci, G., Rella, R., Siciliano, P., & Tepore, A. (1993). Optical absorption of tellurium suboxide thin films. physica status solidi (a), 136(2), K101-K104.

[23] Tauc, J., Grigorovici, R., & Vancu, A. (1966). Optical properties and electronic structure of amorphous germanium. physica status solidi (b), 15(2), 627-637.

[24] Erken, O., Ozkendir, O. M., Gunes, M., Harputlu, E., Ulutas, C., & Gumus, C. E. B. R. A. İ. L. (2019). A study of the electronic and physical properties of SnO2 thin films as a function of substrate temperature. Ceramics International, 45(15), 19086-19092.

[25] Al-Saadi, T. M., Hussein, B. H., Hasan, A. B., & Shehab, A. A. (2019). Study the

[12] Jeng, J. S. (2012). The influence of annealing atmosphere on the material properties of sol–gel derived SnO2: Sb films before and after annealing. Applied surface science, 258(16), 5981-5986.

[13] Yu, S., Zhang, W., Li, L., Xu, D., Dong, H., & Jin, Y. (2013). Transparent conductive Sb-doped SnO2/Ag multilayer films fabricated by magnetron sputtering for flexible electronics. Acta materialia, 61(14), 5429-5436.

[14] Ravichandran, K., Thirumurugan, K., Begum, N. J., & Snega, S. (2013). Investigation of p-type SnO2: Zn films deposited using a simplified spray pyrolysis technique. Superlattices and Microstructures, 60, 327-335.

[15] Deyu, G. K., Muñoz-Rojas, D., Rapenne, L., Deschanvres, J. L., Klein, A., Jiménez, C., & Bellet, D. (2019). SnO2 films deposited by ultrasonic spray pyrolysis: influence of al incorporation on the properties. Molecules, 24(15), 2797.

[16] Aldemir, D. A., Benhaliliba, M., & Benouis, C. E. (2020). Photodiode based on Al-doped SnO2: Fabrication, current-voltage and capacitance-conductance-voltage measurements. Optik, 222, 165487.

[17] Longhurst, R. S. (1973). Geometrical and physical optics. Orient BlackSwan.

[18] Reddy, N. N. K., Akkera, H. S., Sekhar, M. C., & Park, S. H. (2017). Zr-doped SnO 2 thin films synthesized by spray

structural and optical properties of Cr doped SnO2 nanoparticles synthesized by sol-gel method. Energy Procedia, 157, 457-465.

[26] Abass, A. K., & Abd Al-Hassan, S. A. (2019). Effect the Composition Ratio of Cobalt Oxide on the Structural and Optical Properties of Tin Oxide. Al-Qadisiyah Journal Of Pure Science, 24(3).

[27] Orton, J. W., & Powell, M. J. (1980). The Hall effect in polycrystalline and powdered semiconductors. Reports on Progress in Physics, 43(11), 1263.

[28] Urbach, F. (1953). The long-wavelength edge of photographic sensitivity and of the electronic absorption of solids. Physical review, 92(5), 1324.

[29] Sze, S. M., & Ng, K. K. (2006). LEDs and lasers. Physics of semiconductor devices, 3, 601-657.

[30] Pankove, J. I. (1975). Optical processes in semiconductors. Courier Corporation.