مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد السادس والعشرون - المجلد الأول - علوم الفيزياء - أيلول 2025 م
doi.org/10.52866/esj.2025.01.26.12

دراسة الخواص البصرية لأغشية (ZnO_{1-x}:$CNTs_x$) المحضرة باستخدام تقنية الرش الحراري

عبد العليم نجم عبد* ، ولاء محفوظ محمد
قسم الفيزياء، كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق.
* البحث مستل من رسلة ماجستير الباحث الأول
an230062pep@st.tu.edu.iq

مستخلص:

في هذا البحث تم دراسة الخصائص البصرية لأغشية (ZnO_{1-x}:$CNTs_x$) النقية والمشوبة بأنابيب الكربون النانوية (CNTs) بنسب وزنية مختلفة ٪(0.3) والمرسبة على قواعد زجاجية عند درجة حرارة C°(400) وبسمك nm (300±50) باستخدام تقنية الرش الكيميائي الحراري. أظهرت نتائج الفحوصات البصرية انخفاضاً في قيم الامتصاصية مع إضافة أنابيب الكربون النانوية.

كذلك بينت النتائج انخفاضاً في قيم النفاذية للأغشية المشوبة لتصل إلى أقل من ٪(10)، خاصة في منطقة الأطوال الموجية الأقل من nm(300). أما بالنسبة لفجوة الطاقة البصرية (E_g) فقد سجلت قيمة مقدارها eV(3.85) للأغشية النقية، بينما زادت إلى حوالي eV(3.9) بعد التشويب بنسبة ٪(0.3) من أنابيب الكربون النانوية، مما يشير إلى تغير في مستوى فيرمي وتحسين في انتقال الإلكترونات.

كما أظهرت النتائج انخفاضاً في معامل الخمود (k) وزيادة في الانعكاسية للأغشية المشوبة، وهو ما يعزى إلى زيادة العتمة الناتجة عن إضافة أنابيب الكربون النانوية. هذه التحسينات في الخصائص البصرية تشير إلى إمكانية استخدام هذه الأغشية في تطبيقات الأجهزة الإلكترونية الضوئية والخلايا الشمسية.

الكلمات المفتاحية: انابيب الكاربون النانوية، أوكسيد الزنك، الرش الكيميائي الحراري، الخصائص البصرية.

Study of the optical properties of (ZnO1-x:CNTsx) films prepared using the thermal spray technique

Abdulaleem Najm Abed Al-Haddad , Walla M. Mohammd
Department of Physics, College of Education for Pure Sciences, Tikrit University, Tikrit, Iraq.
Email: an230062pep@st.tu.edu.iq

Abstract:

In this research, the optical properties of pure (ZnO1-x:CNTsx) films doped with carbon nanotubes (CNTs) at different weight ratios (0.3) % were studied. These films were deposited on glass substrates at (400)°C and had a thickness of (300±50) nm using the chemical spray thermosetting technique. The results of the optical tests showed a decrease in the absorbance values with the addition of carbon nanotubes, while an improvement in the crystal structure and a reduction in surface defects were observed in the doped films.

The results also showed a decrease in the transmittance values of the doped films, reaching less than (10) %, especially in the wavelength region below (300) nm. The optical energy gap (Eg) recorded a value of (3.85) eV for the pure films, While it increased to approximately (3.9) eV after doping with (0.3)% carbon nanotubes, indicating a change in the Fermi level and an improvement in electron transport.

The results also showed a decrease in the extinction coefficient (k) and an increase in the reflectivity of the doped films, attributed to the increased opacity resulting from the addition of carbon nanotubes. These improvements in optical properties suggest the potential use of these films in optoelectronic device and solar cell applications.

Keywords: Carbon nanotubes, zinc oxide, chemical spraying, optical properties.

1- المقدمة :

يعد أوكسيد الزنك (ZnO) من الأكاسيد الشفافة (TCO)، وله خصائص فيزيائية تميزه عن غيره ففجوة الطاقة له 3.37(eV)، وطاقة ربط إكسايتونية بمقدار 60(MeV)، جعلت الباحثين يستخدمونه في مجال الالكترونات الضوئية، والخلايا الكهروضوئية، ويعد أوكسيد الزنك (ZnO) من المواد التي لها هياكل متنوعة، وتكويناتها أغنى بكثير من أي مواد نانوية معروفة بما في ذلك أنابيب الكربون النانوية حيث إن له نفاذية عالية تصل إلى حدود 90(٪)، ويحدث امتصاص حاد لأغشيته بالقرب من 380(nm) [2،1].

وبالنسبة للتركيب البلوري لمادة (ZnO) المستعملة فهي من نوع سداسي متراص (Hexag-onal wurtizite) وهذا النوع هو الأكثر استقراراً حرارياً ويمتلك وحدة خلية ذات ثوابت [c=5.206 A°, a=3.25 A°] والنسبة [c /a=1.633]، وله معامل انكسار (2.004) [4،3].

تتكوّن أنابيب النانو من عدة طبقات رقيقة تُطوى على هيئة أسطوانية، بحيث تشكل أنبوبًا نانويًا، وغالبًا ما تكون إحدى نهايتيه مفتوحة بينما تكون الأخرى مغلقة على شكل نصف كرة. تُصنع هذه الأنابيب من مواد عضوية مثل الكربون، أو من مواد غير عضوية كأكاسيد الفلزات. ويتراوح قطرها بين nm (100–1)، في حين يصل طولها إلى حوالي (100)، وتتميّز أنابيب النانو بخصائص فريدة مثل الصلابة العالية، القوة الميكانيكية، والناقلية الكهربائية الممتازة. كما تتخذ عدة أشكال هندسية، منها، الأنابيب المستقيمة، الأنابيب اللولبية، الأنابيب المتعرجة، الأنابيب الخيزرانية، والأنابيب المخروطية، ولديها تراكيب تختلف عن بعضها البعض، وتتكوّن من بنية غير متبلورة (amorphous structure) تحتوي على طبقات جزيئية مستوية مكوّنة من حلقات كربونية ذات ترابط بأبعاد جزيئية مختلفة، مما يؤدي إلى تشكّل مسامية والأنابيب النانوية الكربونية (CNTs)، فهي تتكوّن من ذرات كربون مهجنة من نوع (sp^2) ، منحنية ومصفوفة بشكل محوري على هيئة مستويات أسطوانية متحدة المركز[8،6،5].

وتُستخدم أنابيب الكربون النانوية متعددة الجدران على نطاق واسع كدعامات محفزات غير متجانسة، نظرًا لامتلاكها مساحة سطح كبيرة، وقوة ميكانيكية جيدة، واستقرارها في الظروف القاسية. تتكون أنابيب الكربون النانوية من طبقات من ذرات الكربون مرتبة في حلقات سداسية الأبعاد [7].

2 - الجانب النظري:

تتميز الخصائص البصرية لأي مادة اعتماداً على ما يحدث للضوء عند سقوطه عليها كالامتصاصية (Absorptin)، والنفاذية (Transmis-sion)، والانعكاسية (Reflectance)، والعامل الرابع هو معامل الامتصاص (Absorption coefficient)، فالنفاذية ((Transmittance)) T التي يمكن تعريفها بانها النسبة بين الطاقة الضوئية التي تنفذ من السطح الى الطاقة الضوئية الساقطة على السطح وترتبط بعلاقة مع الامتصاصية كما موضح بالعلاقة ادناه [10،9]:

$$T = e^{-2.303A} \quad \text{..... (1)}$$

حيث ان : T النفاذية؛ A الامتصاصة.

ويحصل إمتصاص المادة للضوء عند سطح

نموذج الاغشية أو في داخله، وتعرف الإمتصاصية (A) بأنها النسبة بين شدة الإشعاع الذي يمتصه الغشاء(I_A) إلى شدة الإشعاع الساقط على الغشاء (I_0)، وهي كمية خالية من وحدات القياس، وتعطى بالعلاقة الآتية [11،12]:

$$A = \frac{I_A}{I_o} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

حيث ان: A الامتصاصية؛ I_A شدة الإشعاع الذي يمتصه الغشاء؛ I_0 شدة الإشعاع الساقط على الغشاء.

أما معامل الامتصاص (α) الذي يقاس بوحدة (cm^{-1}) يمكن حسابه **من خلال طيف النفاذية الذي** يعطى بالمعادلة الاتية[11]:

$$\alpha = (2.303)\ \frac{A}{t} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

حيث ان: α معامل الامتصاص؛
A الامتصاصية ؛ t سمك الغشاء.

كما يمكننا حساب معامل الخمود (k) للغشاء المرسب هو كمية الطاقة الممتصة في المادة أي مقدار فقدان الطاقة بسبب تفاعل الموجة والمادة لعوامل عدة، فيت حسابها بواسطة معادلة (Bouguer-Lam-bert-Beer)، حسب المعادلة [9]:

$$K = \frac{\alpha\ \lambda}{4\ \pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

حيث ان: k **معامل الخمود؛** α معامل الامتصاص؛ λ الطول الموجي.

وتعرف الانعكاسية (Reflectance) بأنها: شدة الضوء الذي يرتد عن سطح المادة، بالنسبة إلى شدة الضوء؛ وتم الحصول على الانعكاسية خلال قانون حفظ الطاقة، والذي يجمع أيضًا بين النفاذية والامتصاص، حيث تم الحصول على ظاهرة الانعكاس (الداخلي والخارجي) من أسطح المادة عند طول موجة الشعاع، والذي يكون أكبر من البعد البلوري للمادة الساقطة على الشعاع خلال المعادلة التالية [12] :

$$R = 1 - (A + T) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

حيث ان: الانعكاسية؛ A الامتصاصية؛ T النفاذية.

كما وقد تم حساب فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الالكترونية المباشرة المسموحة للاغشية المحضرة بتطبيق المعادلة (4) والتي عندها تكون قيمة الثابت r = 2 / 1 ويمكن كتابتها بالشكل التالي[17]:

$$(\alpha hv) = B(hv - E_g)^n \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

حيث ان: α: معامل الامتصاص؛ ***B***: ثابت؛ E_g: فجوة الطاقة البصرية؛ n: ثابت يأخذ القيمتين ½ أو 2 ويعتمد على نوع الانتقالات الالكترونية؛ h: ثابت بلانك.

3 - طريقة العمل:

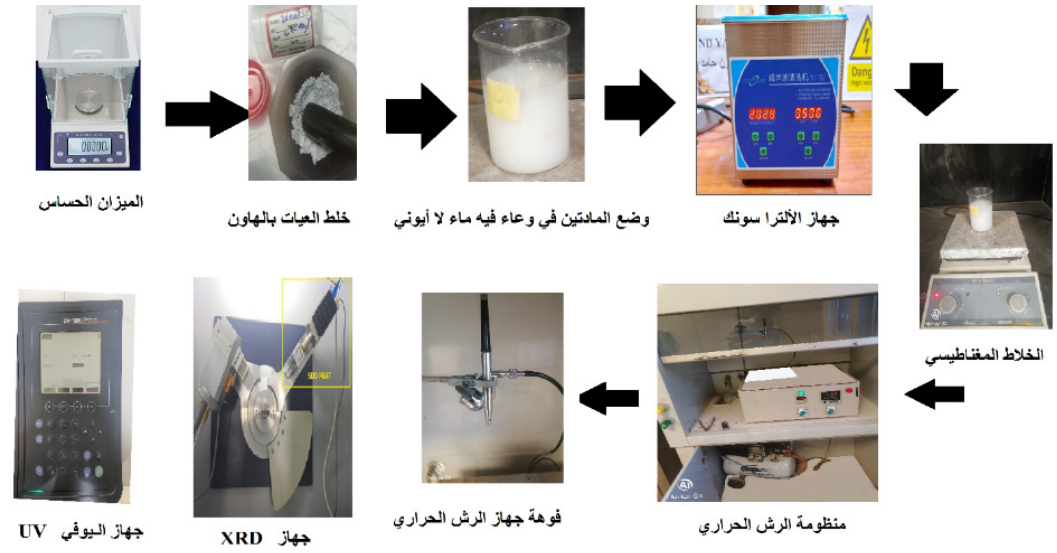
3-1 تهيئة الارضيات وتنظيفها:

من الضروري إلى الانتباه عندما نحضر أغشية رقيقة على ركائز من الزجاج إلى أهمية تنظيف الركائز والعمل ضمن جو معقم، كما أن اختيار نوعية الركيزة يعد من بين العوامل التي تساهم في نجاح عملية ترسيب المحلول على شكل طبقات رقيقة، حيث اعتمدنا في بحثنا هذا على استخدام – ركائز زجاجية من نوع (MICROSCOPE SLIDE) صينية المنشأ ذو الأبعاد cm^2 (2.5x2.5) حيث تم تنظيف القواعد الزجاجية للتخلص من الشوائب التي تؤثر في خواص الأغشية المحضرة ولتكون جاهزة الاستعمال يجب اتباع الخطوات التالية :غسل

الركائز الزجاجية جيداً بالماء المقطر المسخن إلى درجة حرارة (70 c°) للتخلص من العوالق الناتجة عن العوامل الجوية، ونغمرها في وعاء يحتوى على الإيثانول ثم بعد ذلك نغمرها في محلول الميثانول لإزالة أية آثار دهنية أو عوالق متبقية على سطحها ثم بعد ذلك نقوم بتجفيفها بواسطة مجفف شعر ذو هواء حار.

3-2. تحضير المحاليل:

تم وزن عينات من (ZNO_{1-x}:$CNTs_x$)، بنسب وزنية wt.٪ (x= 0,3)، والتي هي أوكسيد الزنك (ZnO) المنتج من قبل شركة (Sigma-Aldrich Chemie GmbH) وانابيب الكاربون النانوية (CNTs) والمنتج من شركة (Sigma-Aldrich Che-mie GmbH) وتم خلطها بواسطة هاون من مادة العقيق، وتم وضعها بـ (beaker) وتم إضافة ماء لا أيوني بمقدار (200)ml بدرجة حرارة (37)C°، وتم معالجة المزيج بجهاز (Ultrasonic) لمدة (3)h لضمان عدم تكتل المادة، بعدها تم وضعه بجهاز (Magnetic stirrer) لمدة (3) h وبدرجة حرارة (37)C°، بعدها رش المحلول بجهاز الرش الحراري على ركائز من الزجاج بعد ضبط جهاز الرش على درجة حرارة (400)C°، ولزمن رش (3) sec و زمن توقف (10) sec بعدها أجرينا الفحوصات البصرية على العينات والشكل(1) والجدول (1) يوضحان خطوات العمل المتبعة في تحضير العينات والنسب الوزنية لكل مادة على التوالي.



الشكل (1): يوضح خطوات العمل المتبعة لتحضير العينات.

الجدول(1): **يبين النسب الوزنية للمواد الداخلة في تحضير غشاء** (ZNO_{1-x}:$CNTs_x$).

ZnO (wt)%	CNTs (wt)%
100	0
97	3

3-3. ترسيب الاغشية الرقيقة:

بعد اكتمال عملية التنظيف للارضيات الزجاجية يتم تهيأتها للترسيب وذلك من خلال وضعها على سطح السخان الكهربائي والذي يتم تشغيله حسب شروط التشغيل البينة ادناه والمبينة في الجدول (2)، للحصول على اغشية رقيقة متجانسة، ومتماسكة مع القاعدة الزجاجية.

الجدول (2): شروط التشغيل الخاصة بمنظومة الرش الكيميائي الحراري.

شروط التشغيل		
درجة الحرارة	C° 400±2%	
الضغط	bar 2	
المسافة بين النوزل والقاعدة	30±1cm	
زمن الرش وزمن التوقف	رش(3sec)	توقف (10sec)
عدد الرشات	رشة 10	
معدل الرش	mL/min(6)	

3-4. قياس سمك الاغشية الرقيقة :

بعد ان تم ترسيب جميع الاغشية الرقيقة على القواعد الزجاجية اعيد وزن القواعد من جديد وذلك لغرض الحصول على سمك الاغشية المحضرة حيث تم استخدام الطريقة الوزنية في قياس سمك الاغشية والتي نفذت باستخدام نفس الميزان انف الذكر ومن خلال المعادلة التالية[9]:

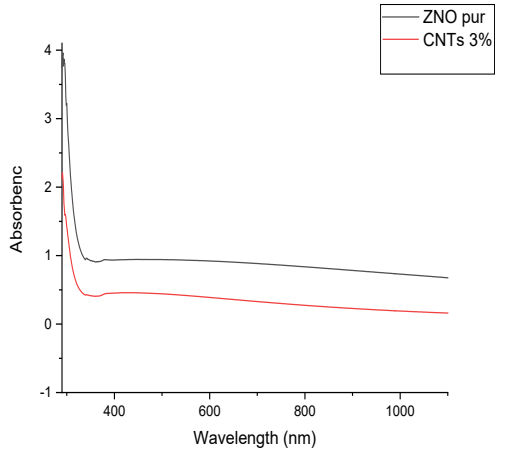
$$t = \frac{\Delta W}{\rho * A} = \frac{W_2 - W_1}{\rho * A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

حيث ان: t سمك الغشاء؛ ΔW: الفرق في الوزن قبل وبعد الرش؛ ρ كثافة مادة الغشاء (gm/cm^3)؛ A مساحة الغشاء (cm^2).

ومن خلال إيجاد الفرق في الوزن والقسمة على حاصل ضرب كثافة مادة الغشاء ومساحته وكما مبين في المعادلة (2) تبين ان سمك الاغشية المحضرة كان بحدود nm(300±50) تقريبا، كما تمت جميع القياسات البصرية باستخدام جهاز المطياف البصري المعروف ب (UV – 1800) والمجهز من قبل شركة (Shimadzu) والذي يعمل في نطاق الاطوال الموجية nm(1100–300)،

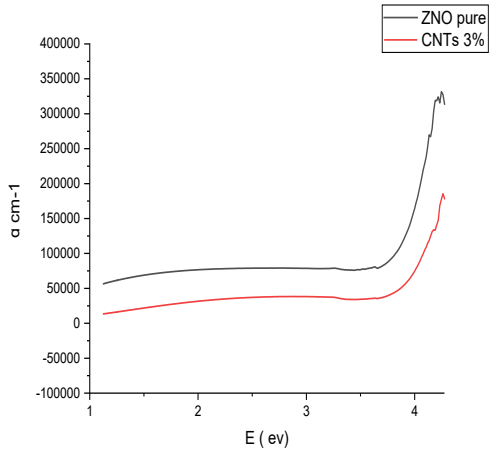
4 - النتائج والقياسات:

الشكل (2) يوضح منحني الامتصاصية كدالة للطول الموجي، وهذه النتائج تعني أن الاغشية تمتاز بامتصاصية عالية في المنطقة المرئية، وتتناسب عكسيا مع الطولي الموجي المعرض له الغشاء، وهذا يعني أن الفوتون الساقط لم يستطع تحفيز الالكترون ونقله إلى حزمة التوصيل، كما اظهر الشكل أن عملية التشويب ٪(X= 0.3) تناقص في منحني الامتصاصية وهذا يعني فيزيائياً تحسيناً في البنية البلورية للأغشية المحضرة، وتقليل في العيوب البلورية مثل العيوب السطحية التي كانت قبل التشويب، وهذه النتائج تتفق مع [18،17].



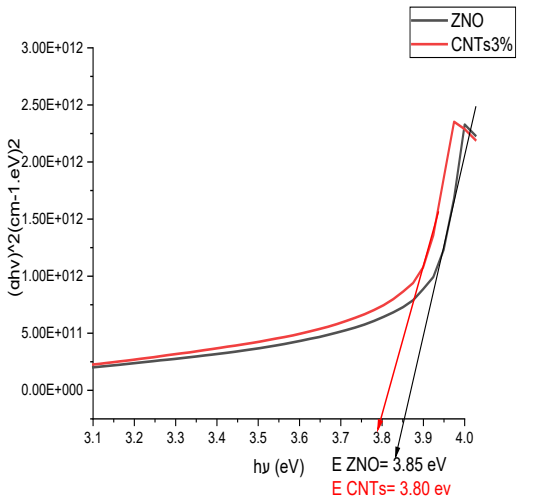
الشكل (2): يوضح الامتصاصية كدالة للطول الموجي للعينات المحضرة.

وبالنسبة لمعامل الامتصاص الشكل (3)، مأخوذ كدالة للطول الموجي، يدل على احتمالية كبيرة لحدوث الانتقالات الإلكترونية المباشرة ، حيث ($\alpha>10^4\ cm^{-1}$) وإن سلوك معامل الامتصاص مشابه جداً لسلوك الامتصاصية للأغشية، فنجد أن قيم معامل الامتصاص تتناسب طرديا مع الطول الموجي إلى منطقة فجوة الطاقة المحضورة (E_g) فتكون قليلة عند الطاقات الواطئة، ثم يبدأ (α) بالزيادة مع زيادة طاقة الفوتونات الساقطة على الغشاء، ثم ت/ هر الزيادة كبيرة وحاد في مدى فجوة الطاقة المحضورة أي في مدى الطاقات (4.2–3.6)eV، وهذه النتائج تتفق مع [19،20] .



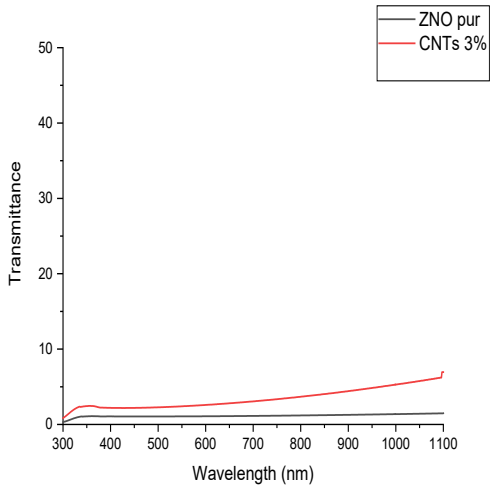
الشكل (3): يوضح معامل الامتصاص كدالة للطاقة للعينات المحضرة.

يتبين من الشكل (4) إن قيمة فجوة الطاقة (Eg) تظهر بوضوح عند حوالي ev (3.85) وهذا قريب جداً من القيم التقليدية لـ ZnO، مما يشير إلى جودة بلورية جيدة للغشاء النقي، وعند تشويب المادة بـ ٪ (X=0.3)، لوحظ زيادة طفيف في فجوة الطاقة إلى eV (3.9) وهذا يشير إلى تأثير التشويب الذي غير من مستوى فيرمي في المادة وهذا يعني أن المادة أصبح أفضل في الترتيب البنيوي، أو أنها ساهمت في عملية انتقال الالكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل، وهذه النتائج تتفق مع [13،14].



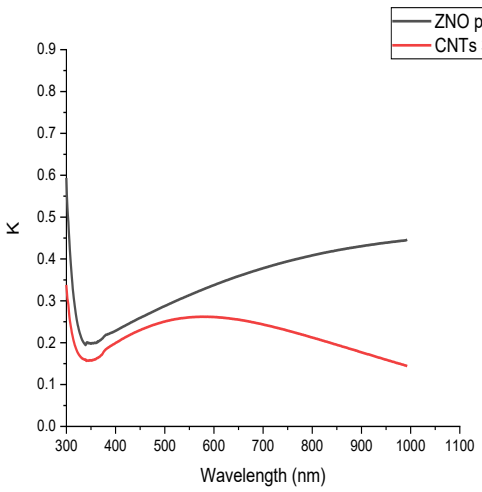
الشكل (4): يوضح فجوة الطاقة البصرية المحسوبة للاغشية المحضرة.

أما بالنسبة لنفاذية الغشاء (ZNO_{1-x}:$CNTs_X$)، فالشكل (5) تظهر الأغشية ٪ (X =0.3) انخفاض حاداً في النفاذية عند الأطوال الموجية الأقل من nm (300)، وتظهر زيادة طفيفة بعد الطول الموجي الأكبر من nm (300) أي بين (400–1100)، وبشكل عام لم تعدى قيمة النفاذية أكبر من (10)، وقد يرجع سبب ذلك إلى زيادة إمتصاصية الغشاء للضوء المرئي، ويستفاد من هذه الخاصية في صناعة الكواشف البصرية، وتتفق هذه النتائج مع الباحثين [21،22].



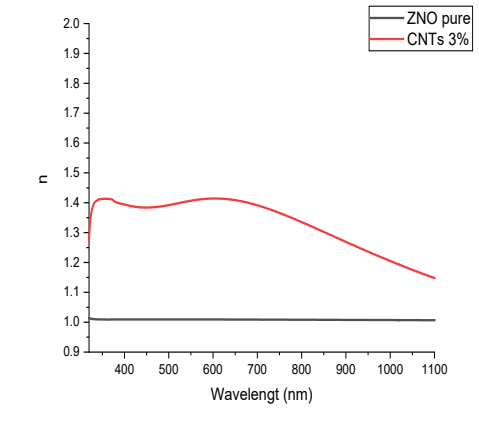
الشكل (5): يوضح النفاذية
كدالة للطول الموجي للاغشية المحضرة.

وعند أخذ معامل الخمود كدالة للطول الموجي، من الشكل (6) يتبين انخفاض حادي في معامل الخمود (K)، وهذه النتائج تتفق مع منحنى معامل الامتصاص للأغشية، إلى نطاق المنطقة المرئية، فعند الطول الموجي (400) nm يبدأ منحني الخمود بالزيادة وقد يعزى ذلك إلى مقدار فجوة الطاقة التي يمتلكها (ZNO_{1-x}: $CNTs_x$) ٪ (x=0)، أما عند إضافة الشائبة ٪ (X=0.3)، وزيادة فجوة الطاقة نلاحظ انخفاض في معامل الخمود، أي إن امتصاصية الغشاء للضوء قل، وهذا يتفق مع التفسيرات السابقة التي توضح تغير البنية البلورية للمادة، أو أن مادة التشويب عملت كنقاط نقاط للفصل قللت من إعادة امتصاص المادة للفوتونات، وهذه النتائج تتفق[23].



الشكل (6): يوضح معامل الخمود
كدالة للطول الموجي للعينات المحضرة.

كما تبين من الشكل (7) أن معامل الانعكاس قليل جداً بالنسبة (ZNO_{1-x}: $CNTs_x$) ٪ (x=0)، أما عند إضافة الشائبة ٪ (X=0.3)، يتضح زيادة في عملية الانعكاس، وهذا بسبب أن (ZNO) مادة شفافة، أما (ZNO_{1-x}: $CNTs_x$) ٪ (X=0.3) فهي مادة سوداء أضيفت لمادة أوكسيد الزنك، فأصبحت أكثر عتمة من الغشاء السابق، وهذه التفسيرات تتفق مع الباحث [14،15].



الشكل (7): يوضح معامل الانكسار
كدالة للطول الموجي للعينات المحضرة.

5- الاستنتاجات:

بعد اجراء البحث تبين مايلي:

1. أظهرت الأغشية المشوبة بـ (CNTs) انخفاضًا في الامتصاصية مقارنةً بالغشاء النقي (ZnO)، مما يشير إلى تحسن في البنية البلورية وتقليل العيوب السطحية.

2. لوحظ انخفاض حاد في النفاذية ٪(10) للأغشية المشوبة، خاصة عند الأطوال الموجية (300)nm ، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات الكواشف البصرية.

3. كانت فجوة الطاقة للغشاء النقي (3.85)eV، بينما انخفضت إلى (3.9)eV بعد التشويب بـ (CNTs)، مما يدل على تغير في مستوى فيرمي وتحسين انتقال الإلكترونات.

4. انخفض معامل الخمود مع إضافة (CNTs) ، مما يشير إلى تقليل امتصاص الفوتونات.

5. زادت الانعكاسية في الأغشية المشوبة بسبب زيادة العتمة الناتجة عن إضافة (CNTs).

6. أدت إضافة (CNTs) إلى تحسين الخصائص البصرية للأغشية (ZnO)، مما يوسع نطاق تطبيقاتها في الأجهزة الإلكترونية الضوئية وغيرها.

المصادر

1. Zhong Lin Wang. (2004). Nanostructures of zinc oxide. School of Materials Science and Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332-0245, USA. P26-33.

2. Khan, Z. R., Khan, M. S., Zulfequar, M., & Khan, M. S. (2011). Optical and structural properties of ZnO thin films fabricated by sol-gel method. Mater. Sci. Appl, 2(5), 340-345.

3. Enad Salih Ibraheem. (2016). Study the effect of doping on the ZnO/Si heterojunction properties prepared by chemical spray pyrolysis. Doctoral dissertation in the Department of Physics. College of Education for Natural Sciences. Tikrit University. P88.

4. Smith, R. A. (1959). Semiconductors Cambridge Univ. Press, Cambridge.

5. Griger, S., Sands, I., & Chen, Y. (2022). Comparison between Janus-Base Nanotubes and Carbon Nanotubes: A Review on Synthesis, Physicochemical Properties, and Applications. *International. Journal of Molecular Sciences*. *23*(5), 2640.

6. Saadah, N. Niam, Study of various methods for the preparation and characterization of nanoparticles and their applications in multiple scientific fields. Doctoral dissertation, Kasdi Merbah University. P 67

7. Q. Li, J. Sheng, Q. Wei, Q. An, X. Wei, P. Zhang, L. Mai, Nanoscale 6 (2014) 11072.

8. Warren، B. E. (1990). X-ray Diffraction. Courier Corporation.

9. A. M. H. Al-Alyan, S. J. Mohammed, and W. M. M. Amin. (2022) "Investigation of the structural, optical, and electrical characteristics of $SnO_{2x}(Bi_2O_3)_\gamma$ films and their sensing applications," Ph.D. dissertation, Coll. of Education for Pure Sciences, Tikrit Univ., p. 93.

10. Babeva, T. (2020). "Optical Thin Films and Structures: Design and Advanced Applications". Coatings, 10(11), 1140.

11. Khelladi, N. B., & Sari, N. E. C. (2014). Optical properties of ZnO thin films prepared by Sol-gel method. In 2014 North

(2022).”Structural, Optical and Electrical Properties of SnO_2:ZnO Films Prepared by Thermochemical Method,” M.Sc. thesis, College of Education for Pure Sciences, Tikrit University, Iraq,

19. Mostafa, A. M., Mwafy, E. A., & Toghan, A. (2021). ZnO nanoparticles decorated carbon nanotubes via pulsed laser ablation method for degradation of methylene blue dyes. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 627, 127204.

20. Wang، Z. L. (Ed.). (2010). Nanowires and Nanobelts: Materials، Properties and Devices: Volume 2: Nanowires and Nanobelts of Functional Materials. Springer Science & Business Media.

21. A. S. Abd-Alsada and M. F. A. Alias. (2021). ‘Impact of CNT Concentrations on Structural, Morphological and Optical Properties of ZnO: CNT Nano composite Films’, J. Phys. Conf. Ser., vol. 2114, pp. 1–11.

22. R. Saad, A. Gamal, M. Zayed, A. M. Ahmed, M. Shaban, M. BinSabt. (2021). “Fabrication of ZnO/CNTs for application in CO2 sensor at room temperature,” Nanomaterials, vol. 11, no. 11, p. 3087.

23. A. S. Abd–Alsada and M. F. A. Alias. (2021). “Impact of CNT Concentrations on Structural, Morphological and Optical Properties of ZnO: CNT Nanocomposite Films”. Journal of Physics. Conference Series, vol. 2114, no. 1, p. 012020.

African Workshop on Dielectic Materials for Photovoltaic Systems (NAWDMPV) (pp. 1-3). IEEE.

12. Benelmadjat, H.; Boudine, B. and Halimi. (2009). Fabrication and Characterization of pure and Sn/Sb doped ZnO thin Films deposited by Sol-gel method. Optics & Laser Technology, 167(243).

13. Mohammd, W. Mohamed. (2024). Study The Effect of Doping Zinc Oxide Thin Films With (0.5 wt.%) Carbon Nanotubes by Vacuum Evaporation. Tikrit Journal of Pure Science. 29(5), 65-72.

14. Wlla, mahffod mohammed. (2015). Manufacturing detector junction hybrid type CNTS/ZNO/SI free rappid thermal oxidation. A thesis submitted to University of Tikrit.

15. A. R. Dahham, S. J. Mohammed, and W. M. Mohammed. (2019) ‘Study of the optical and structural properties of the (ZnO) membrane, which is prepared by the method of thermal steaming by using the closed oven’, Tikrit J. Pure Sci., vol. 24, no. 2, pp. 56–62 .

16. F. S. Alamro, A. M. Mostafa, H. A. Ahmed, and A. Toghan. (2021). “Zinc oxide/carbon nanotubes nanocomposite: Synthesis, characterization and catalytic reduction of 4-nitrophenol via laser assistant method,” .Surfaces and Interfaces. vol. 26, p. 101406.

17. Nour Mohammed Ali Al-Karkhi. (2012). “Study of Structural and Optical Properties of (ZnO:Sn) Thin Films Prepared by Chemical Spray Pyrolysis,” M.Sc. thesis, University of Diyala, Iraq.

18. Naeemah Ahmed Aswad,