مجلة الدراسات التربوية والعلمية - كلية التربية - الجامعة العراقية
العدد الخامس والعشرون - المجلد الأول - علوم الفيزياء - آذار 2025 م
doi.org/10.52866/esj.2025.01.25.03

دراسة تأثيرالتطعيم بـ CuO في الخواص التركيبية والبصرية لأغشية TiO2:CdO الرقيقة المحضرة بطريقة الرش الكيميائي الحراري

منذر إبراهيم سالم , حنان رضا عبد
La230046pep@st.tu.edu.iq
جامعة تكريت / كلية التربية للعلوم الصرفة - قسم الفيزياء

مستخلص:

تم تحضير أغشية رقيقة من ثنائي اوكسيد التيتانيوم: واوكسيد الكادميوم (TiO_2:CdO) وبنسبة (50:50)٪ والمطعمة بـ أوكسيد النحاس (CuO) وبنسب مختلفة ٪ (0,1,3,5) وباستعمال تقنية الرش الحراري الكيميائي عند درجة حرارة (350)C° وبسمك nm(125±15) وعلى قواعد من الزجاج . تمت دراسة الخواص الفيزيائية لهذه الاغشية، الخصائص التركيبية والخصائص البصرية، حيث تبين من نتائج حيود الاشعة السينية انها ذات طبيعة متعددة التبلور وذات طور أنتاس (anatase) وبتركيب رباعي قائم (tetragonal)، وبالاتجاه السائد والمفضل (101) لـ ثنائي اوكسيد التيتانيوم (TiO_2) فقط، ومكعبي (Cubic) لـ أوكسيد الكادميوم (CdO)، وبالاتجاه السائد والمفضل (111). وكذلك نلاحظ زيادة في ألحجم البلوري. بينما أظهرت نتائج مجهر القوة ألذرية (AFM) أن الحجم الحبيبي يزداد بزيادة نسب التطعيم ليصبح nm(89.06–97.21)، كما تبين ان معدل خشونة السطح ومتوسط الجذر التربيعي تزداد قيمتها عند زيادة نسبة التطعيم،nm(0.913–3.23)،و nm(1.02–3.78)RMS على التوالي، وتم دراسة مورفولوجيا السطح للأغشية الرقيقة بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) إذ نلاحظ بأن الحبيبات النانوية على شكل انابيب نانوية ومتكتلة ومتجمعة بأنماط وكثافات مختلفة، كما أن تواجد (CuO) بشكل استبدالي مع (TiO_2:CdO) كما نلاحظ الغشاء المطعم بنسبة ٪(1) يتميز عن بقية الأغشية بانتشار أفضل وتجانس جيد .اظهرت النتائج البصرية ان النفاذية تقل مع زيادة نسب التطعيم من أوكسيد النحاس (CuO) ، وكذلك نلاحظ أن معامل الامتصاص يزداد بزياد نسبة التطعيم، واظهرت النتائج ان فجوة الطاقة البصرية لأغشية (TiO_2:CdO) النقية تقل بزيادة نسب التطعيم.

الكلمات المفتاحية: أوكسيد التيتانيوم:أوكسيد الكادميوم، أوكسيد النحاس، التطعيم، الرش الكيميائي ا الحراري، أنتاس.

The effect of CuO doping on Stractural and optical properties of TiO_2:CdO thin films prepared by spray pyrolysis method.

Munther Ibraheem Salim & Hanan Rida Abd Ali
La230046pep@st.tu.edu.iq
University of Tikrit / college of Education for pure science-Department of physics

Abstract :

In this study, thin films of titanium dioxide and cadmium oxide (TiO_2:CdO) were mixd of (50:50)%, and were prepared and doped with copper oxide (CuO) with doping ratios of (0,1,3,5) %, using the chemical thermal spray technique at a temperature of 350 °C and a thickness of (125±15) nm, and on glass bases. The physical properties were studied, including the structural and the optical properties. The results of X-ray diffraction revealed the Anatase phase of TiO_2 with a polycrystalline structure and a quadrangular system, for TiO_2 , and cubic for CdO, and we also notice There was a diffraction peaks at (101),(103),(200), at the corners (25.68,36.4,48.23), respectively, with the dominant growth direction is (101), for TiO_2, and we also notice There was a diffraction peaks at (111),(200),(220), at the corners (33.02,38.56,55.16), respectively, with the dominant growth direction is (111).

We also notice an increase in the crystalline size as doping rate increased. While the results of atomic force microscopy (AFM) showed that the distribution of granules on the surface of the membrane, showed that the grain size increased with increasing doping rates to become (89.06-97.21) nm. It was also shown that the surface roughness and root mean square value increase when the doping ratio increases nm, and the RMS (1.02-3.78) nm, respectively. The surface morphology of the thin films was studied using a scanning electron microscope (SEM), as we notice that the nanoparticles are nanotubes in shape, agglomerated, and clustered in patterns. And different densities. The optical results showed that the transmittance decreases with increasing percentages of copper oxide (CuO) doping. The results showed that the energy gap decreased (3.57- 3.49) eV when doping ratios of copper oxide (CuO) are increased.

Keywords: TiO_2:CdO, CuO, doping, chemical thermal spray, Anatase.

المقدمة

ان الاكاسيد الموصلة الشفافة هي عبارة عن أشباه موصلات مركبة من اتحاد معدن مع الأوكسجين، وهي واحدة من أهم أنواع أشباه الموصلات ويطلق عليها اختصاراً (TCO) (Trans-parent Conductive Oxides) ، إن الأكاسيد الموصلة الشفافة مثل أوكسيد القصدير(SnO_2)، أوكسيد النحاس (CuO)، تجمع هذه المواد بين ميزتين، إذ تتميز بارتفاع توصيليتها الكهربائية ونفاذيتها البصرية العالية (شفافة) فيمتد طيف النفاذية فيها ما بين (400 1500 – nm) [1]. وفي هذه الدراسة تم استخدام ثلاثة أنواع من الاكاسيد الموصلة الشفافة وهي ثاني أوكسيد التيتانيوم (TiO_2) هو أحد الاكاسيد الموصلة الشفافة ويعتبر احد أنواع المواد شبه الموصلة حيث كان له اهتمام على مدى العقود الماضية لما له من مميزات عديدة ومتنوعة ومنها مادة غير سامة وسهلة الحصول عليها، مادة خفيفة، مادة رخيصة الثمن، وحساسة للضوء، و لها نفاذية عالية في منطقة الضوء المرئي، وايظا له فجوة طاقة ذات نطاق واسع تتراوح بين (3.0 – 3.3) eV، ومعامل انكسار عالي، له ثابت عزل كهربائي عالي، ويعد من الاكاسيد الموصلة الشفافة الأكثر استعمالا (TCO)، وله ثابت عزل كهربائي عالي. وأيظا تم استخدام أوكسيد الكادميوم (CdO) حيث تعد مادة أوكسيد الكادميوم احدى المركبات الكيميائية للكادميوم، وأيظا تم استخدام أوكسيد النحاس (CuO) ويعد اوكسيد النحاس من المواد شبه الموصلة المهمة، كونه احد مركبات النحاس الكيميائية، لا يذوب في الماء ولا في القواعد ويمكن الحصول عليه من اكسدة النحاس، ويتميز بتركيبه البلوري الاحادي الميل، وهو من أشباه الموصلات ذات النوع (p-type) أي إن حاملات الشحنة الاغلبية هي الفجوات (Holes) [2]. اما طرق الحصول على الاغشية الرقيقة تتم باستخدام عدة تقنيات منها الترسيب بالليزر النبضي، وطريقة (Sol-gel) ، وطريقة الرش الكيميائي الحراري، وهي الطريقة التي تم استخدامها في دراستنا الحالية، تم الاعتماد في هذه الدراسة على طريقة الرش الكيميائي الحراري ، حيث يمكن تحضير الاغشية الرقيقة بهذه الطريقة من خلال استخدام المحاليل المائية للمواد ، يحدث التفاعل الكيميائي بمساعدة القاعدة الساخنة بالنسبة الى ذرات المواد المترسبة على القاعدة، حيث تترسب ذرات المادة على القاعدة الساخنة، حيث ان المواد الأولية بهذه الطريقة تتحلل حراريا ثم تتأكسد وتكون عدة طبقات على سطح القاعدة، ان سمك الاغشية الرقيقة يمكن التحكم به من خلال عدة عوامل منها فترة الرش وعدد مرات الرش ونسبة تركيز المواد في محاليلها[3] وتعتبر هذه الطريقة منافسا للطرق الأخرى وذلك لما تمتاز به من مميزات منها الحصول على معدلات ترسيب عالية ، كذلك من الممكن وبسهوله التحكم بالسمك ، ومع ذلك فأن الحصول على غشاء رقيق وذو نوعية جيدة لا تتم الا برفع درجة حرارة القاعدة التي يتم عليها ترسيب المادة المكونة للغشاء .

الجزء العملي

تم تحضير محلول مكون من خليط (Mix) من أوكسيد التيتانيوم (TiO_2) واوكسيد الكادميوم (CdO) بنسبة (50:50) لغرض الحصول على اغشية رقيقة من (TiO_2:CdO) ، ويتم بعد ذلك إضافة

أوكسيد النحاس (CuO) الى الخليط بنسبة (1,3,5 ٪) وذلك نحصل على اغشية رقيقة من (TiO_2:C-dO) مطعمة بنسب محددة من عنصر التطعيم (CuO) والجدول (1) يبن النسب الحجمية للعناصر الداخلة في تكوين الأغشية غير المطعمة والمطعمة وفقاً للنظام ($(TiO_2:CdO)_{1-X}\ CuO_X$) حيث إن (x= 0 , 0.01 , 0.03 , 0.05). توضع هذه النسب التي تم اعداها وبالنسب المطلوبة في قنية جهاز الرش لترسيبها على القواعد الزجاجية التي تم تسخينها مسبقا الى درجة حرارة (350Co) وبذلك يتم الحصول على الاغشية المطلوبة لكي يتم دراسة خواصها.

يوضح الجدول (1) النسب الحجمية للعناصر المشاركة في تكوين أغشية TCC غير المطعمة والمطعمة

نسبة التطعيم	$Cu(CH_3COO)_2.\ 2H_2O$ (ml)	$Cd(CH_3COO)_2.2H_2O$ (ml)	$TiCl_3$ (ml)	المركب الناتج
0	0.00	**25**	**25**	**TiO_2:CdO**
0.01	**0.5**	**24.75**	**24.75**	**TiO_2:CdO(0.99)(CuO)(0.01)**
0.03	**1.5**	**24.25**	**24.25**	**TiO_2:CdO(0.97)(CuO)(0.03)**
0.05	**2.5**	**22.5**	**22.5**	**TiO_2:CdO(0.95)(CuO)(0.05)**

النتائج والمناقشة

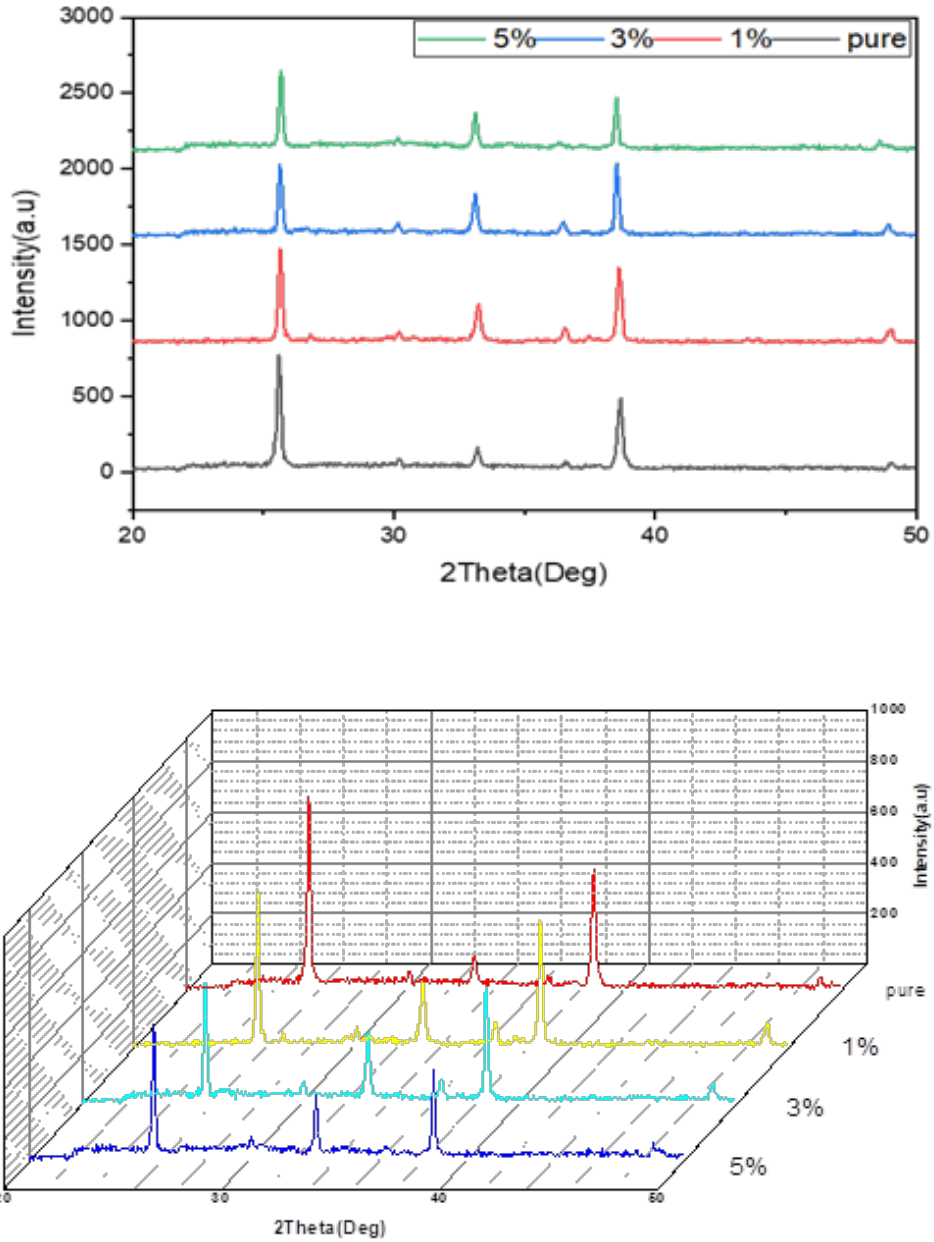
أولاً : نتائج القياسات التركيبية

1- نتائج حيود الأشعة السينية (XRD)

تم أستخدام حيود الأشعة السينية لمعرفة طبيعة النمو البلوري والأطوار التي تكونت بها المادة المحضرة وبتركيز مولاري (0. 1M) والمرسب بدرجة حرارة القاعدة الزجاجية (350 C°).

أظهرت نتائج فحوصات الأشعة السينية انَ اغشية ثنائي اوكسيد التيتانيوم: واوكسيد الكادميوم (TiO_2:CdO) وبنسبة (50:50)٪ والمطعمة بـ أوكسيد النحاس (CuO) وبنسب مختلفة (0,1,3,5)٪ ان الاغشية المحضر هي متعددة التبلور لوجود أكثر من قمة، وذات طور أنتاس (anatase) وهي ذات طبيعة متعددة التبلور وبتركيب رباعي قائم (tetragonal)، لـ ثنائي اوكسيد التيتانيوم (TiO_2) فقط ، ومكعبي (Cubic) لـ أوكسيد الكادميوم (CdO) وهذا يتفق مع [4]. ويلاحظ وجود قمم حيود تناظر المستويات (101)، (103)، (200)، عند الزوايا (2θ= 25.68,36.4,48.23) على التوالي لـ (TiO_2) وبالاتجاه السائد والمفضل (101) وتم مقارنة هذه النتائج مع بطاقة (ICDD) المرقمة (01-089-4203) ، وأيضا وجود قمم حيود تناظر للمستويات (111),(200),(220) عند الزوايا (2θ= 33.02,38.56,55.16) على التوالي لـ (CdO) وبالاتجاه السائد والمفضل (111) وايظا تم مقارنة هذه النتائج مع بطاقة (ICDD) المرقمة (01-075-0592) ، ويعزى السبب في ذلك الى ان التطعيم اوضح ان (CuO) لم يؤثر في تحول الطور لأغشية (TiO_2:CdO)، وكما يعزى السبب في ذلك الى انصاف الأقطار الايونية ، وإنَ شدة القمم لجميع الاغشية تقل بزيادة نسب التطعيم ، ان السبب في ذلك قد يعود الى ان ذرات المادة الشائبة عملت على استحداث مستويات ذرية خاصة بها داخل شبيكة

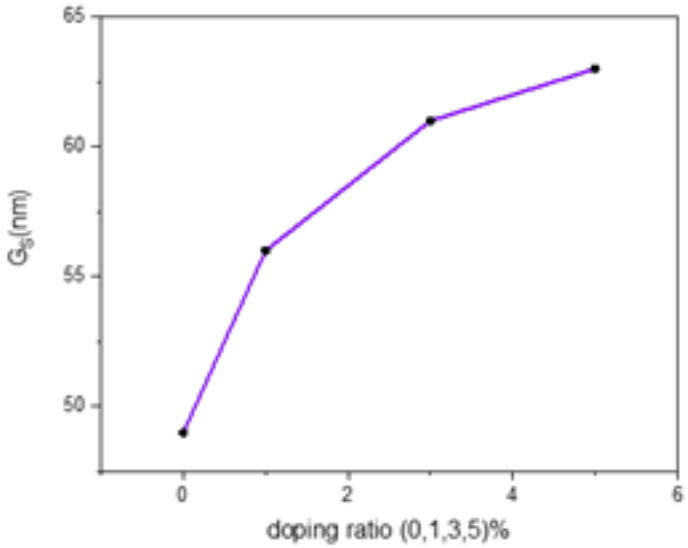
البلورية للمادة المضيفة وبالتالي فان تشتت الاشعة السينية الساقطة على المستويات الذرية لكل من ذرات المادة الشائبة والمادة المشابه سوف لن تكون بالطور نفسه وهذا يسبب تداخلا اتلافيا جزئيا ويبين الجدول (2) النتائج التي تم الحصول عليها من حيود الاشعة السينية، والشكل (1) يوضح نتائج حيود الاشعة السينية وأيضا يوضح الشكل (2) الحجم الحبيبي كدالة لنسب التطعيم، وهذا يتفق مع [4,5,11,13].



الشكل (1) حيود الأشعة السينية لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمشوبة بالنحاس (CuO) وبنسب مختلفة في بعدين وثلاثة ابعاد

الجدول (2) النتائج التي تم الحصول عليها من حيود الأشعة السينية

Samples	2θ deg	FWHM	d_{hkl} Exp A^0	d_{hkl} std A^0	hkl	G_S (nm)
(TiO_2 (0.50 CdO (0.50)	25.5638 33.1422 38.5031	0.1574 0.1572 0.1872	3.35567 2.7031 2.33819	3.5169 2.71065 2.34741	101 111 200	49.20208 48.41838 40.04874
CuO (0.01)	25.7997 33.0511 38.6703	0.1381 0.1532 0.1574	3.32665 2.71034 2.32846	3.5169 2.71065 2.34741	101 111 200	56.0514 49.6943 47.60671
CuO (0.03)	25.9296 33.0647 38.5466	0.1262 0.1474 0.1357	3.43628 2.70926 2.33565	3.5169 2.71065 2.34741	101 111 200	61.32138 51.6479 55.24045
CuO (0.05)	25.4397 33.8641 38.3739	0.1213 0.1242 0.1248	3.50133 2.72533 2.34576	3.5169 2.71065 2.34741	101 111 200	63.7851 61.16708 60.09673



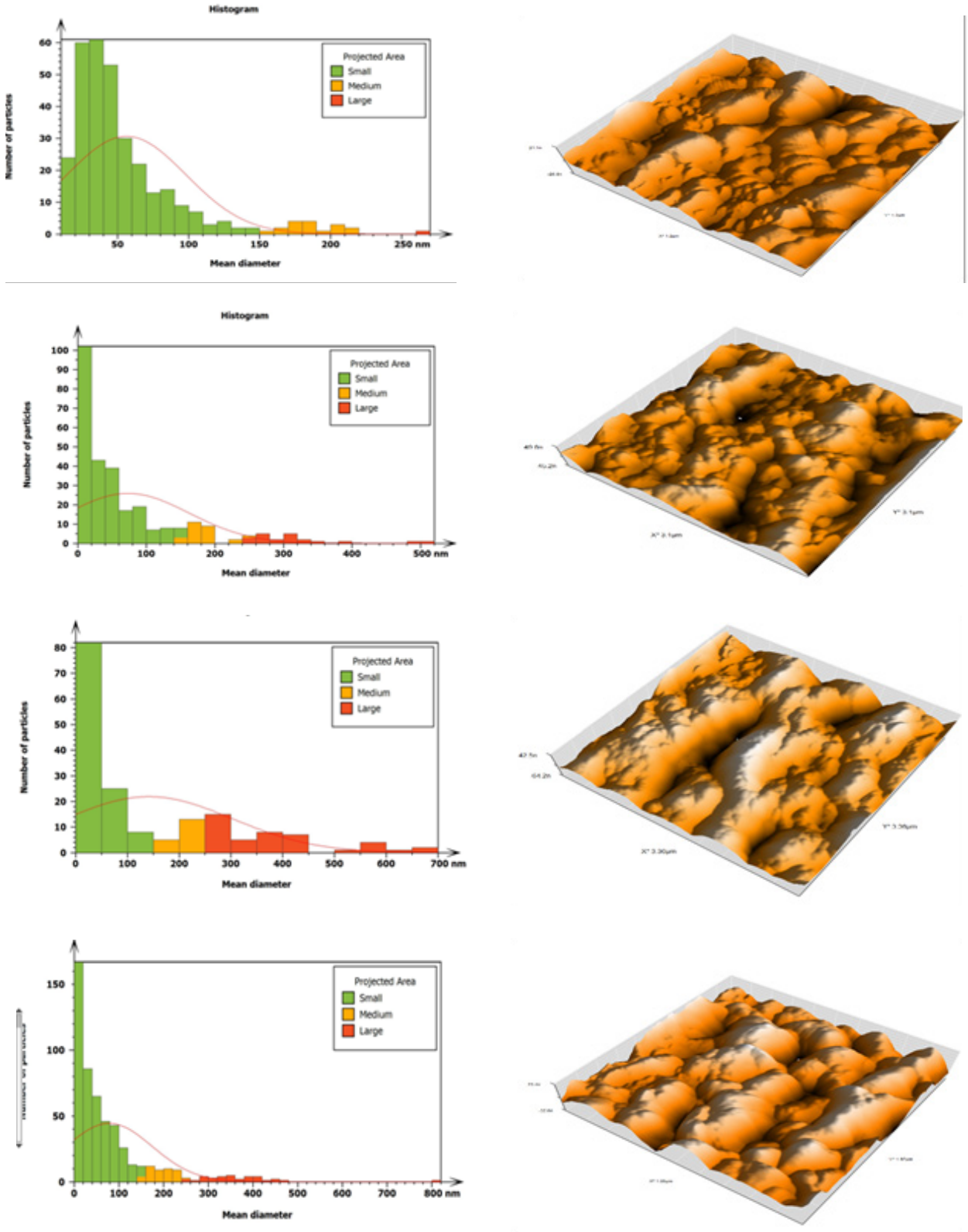
شكل (2) الحجم الحبيبي دالة لنسب التطعيم

2- نتائج فحوصات مجهر القوة الذرية (AFM)

تم دراسة طوبوغرافية سطوح المواد المرسبة باستعمال مجهر القوة الذرية (AFM) حيث يستخدم مجهر القوة الذرية في دراسة طبوغرافية السطح والتركيب البلوري السطحي للأغشية المرسبة ذي القدرة على تصوير هذه السطوح وتحليلها، ومن خلاله يمكن حساب الحجم الحبيبي (Grain size)، ومعدل خشونة السطح (Roughness Average)، ومعدل الجذر التربيعي (Root Mean Square) يبين الشكل (3) صور (AFM) وتوزيع الحبيبات لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس وبنسب تشويب مختلفة، إذ إن قيم خشونة السطح (Surface Roughness) لجميع الأغشية المحضرة تزداد بزيادة نسب التطعيم بالنحاس، وقيم (RMS) لأغشية (TiO_2:CdO) غير المطعمة تقدر (1.02 nm) ولنسبة تشويب (1٪) من النحاس تقدر (1.16 nm) وهذا يدل على زيادة قيم (RMS) بزيادة نسب التطعيم المختلفة، كما يلاحظ زيادة الحجم الحبيبي بزيادة نسب التطعيم وبما إن معدل مربع الجذر (RMS) يتناسب مع معدل الحجم الحبيبي فالنتائج تؤكد زيادة معدل الحجم الحبيبي ونقصان الحدود الحبيبية، وتتفق هذه النتائج مع نتائج حيود الأشعة السينية المتضمنة حساب معدل الحجم الحبيبي .والجدول (3) يبين قيم معدل الحجم الحبيبي و خشونة السطح وقيم (RMS) لجميع الأغشية المحضرة.

جدول (3) نتائج مجهر AFM لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس (CuO)

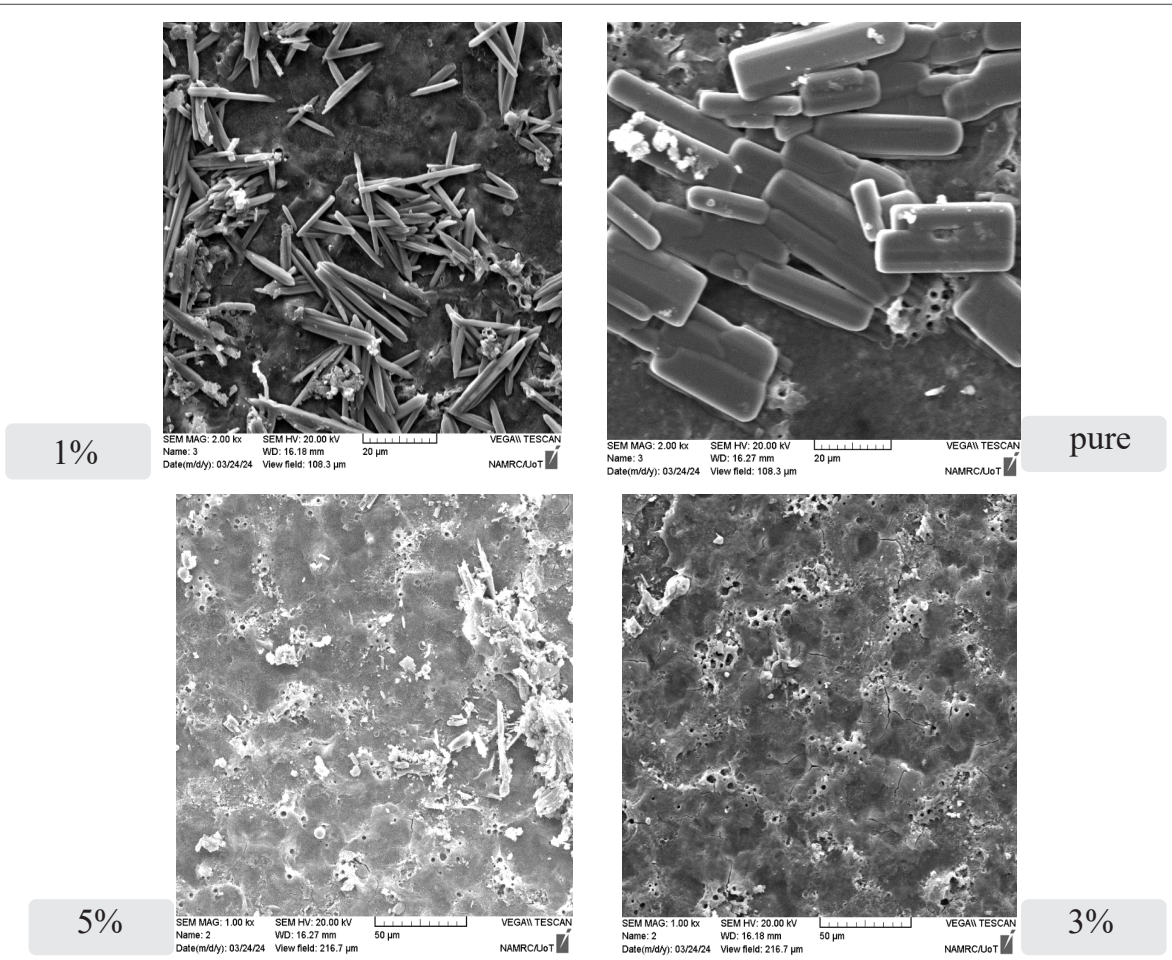
Doping Ratio %	D_{AV}(nm)	Sueface Roughness(nm)	RMS(nm)
pure TiO_2:CdO	**89.06**	**0.913**	1.02
CuO 1%	**92.14**	**1.02**	1.16
CuO 3%	**95.16**	**1.06**	1.24
CuO 5%	**97.21**	**3.23**	3.78



الشكل (3) صور مجهر AFM لغشاء TiO_2:CdO النقي والمطعم بنسب مختلفة من النحاس في 3D مع مخطط للتوزيع الحبيبي

3- نتائج المجهر الإلكتروني الماسح (SEM)

يوضح الشكل (4) صور المجهر الماسح الإلكتروني (SEM) Scanning Electron Micro-scope لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس بنسب مختلفة ٪ (1,3,5) وبتكبير مقداره (20 µm) حيث يعتمد جهاز(SEM) على ارسال الإلكترونات الى سطح العينة لغرض دراسة طبيعة التبلور للمواد المستخدمة في تحضير الغشاء حيث تعتمد على استخدام الالكترونات التي يتم توجيهها إلى العينة بواسطة المدفع الالكتروني الماسح ولا تعتمد الصور المتكونة على الموجات الضوئية.تم فحص أغشية (TiO_2:CdO) غير المطعمة والمطعمة ويوضح فحص (SEM) صورة للغشاء (TiO_2:CdO) غير المطعم بالنحاس حيث يلاحظ تشكل الحبيبات على شكل انابيب نانوية ويعود ذلك الى طبيعة المواد المستخدمة وأيضا الى ظروف التحضير، ويمكننا ايضا التمييز بين الحدود وهذا يدل على ان الغشاء متعدد التبلور، ويمكن ان نلاحظ ايضا عند تطعيم الغشاء (TiO_2:CdO) بالنحاس تبدأ الانابيب النانوية بالتلاشي مع زيادة التطعيم بالنحاس ويمكن ملاحظة الغشاء المطعم بالنحاس بنسبة (1٪) يظهر كأفضل شكل من بين الاغشية المحضرة ويعود السبب في اختيارنا لهذا الغشاء تحديداً بسبب أن هذا الغشاء قد امتلك أفضل تركيب بلوري إذ إنه امتلك أعلى شدة في قمم الحيود مقارنة مع بقية الأغشية وفقاً لما أظهرته نتائج فحص حيود الأشعة السينية.



شكل (4) صور المجهر الالكتروني الماسح (SEM)

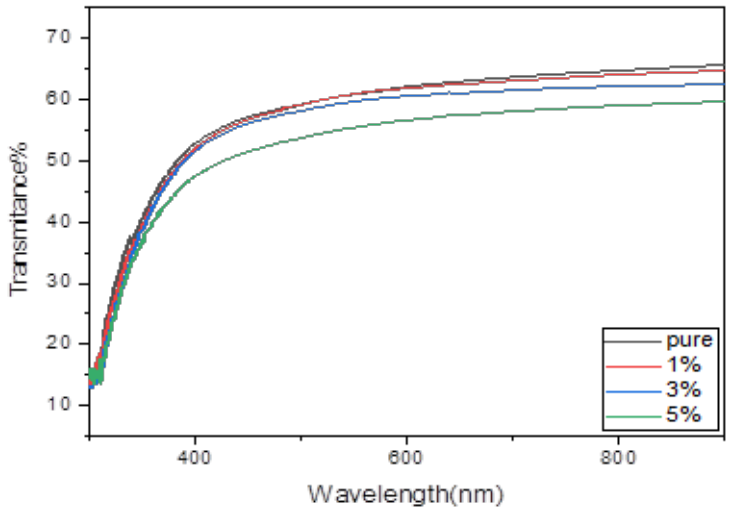
ثانياً نتائج القياسات البصرية

1- النفاذية (T)

تم حساب قيم طيف النفاذية لأغشية (TiO_2:C-dO) النقية والمطعمة بالنحاس بالنسبة للأطوال الموجية ضمن المدى (300- 900 nm) وبينت نتائج الحسابات التي تمت حسب المعادلة (1) حيث ان النفاذية للأغشية النقية و المطعمة بنسب (1,3,5٪) تبدأ باقل قيمة عند الطول الموجي(300 nm) بسبب الامتصاصية العالية للأغشية في تلك المنطقة ثم تبدأ بالزيادة تدريجياً لتصل إلى أعلى قيمة لها عند الطول الموجي (850 nm) من ثم تبدو ثابتة ضمن المدى (800-1000 nm) كما موضح في الشكل (5) ويمكننا ملاحظة أن طيف النفاذية لجميع الأغشية الرقيقة يزداد مع زيادة الطول الموجي ومن ناحية أخرى فأن النفاذية تقل بزيادة التطعيم بالنحاس (CuO) وبالتالي ازدياد الامتصاصية وكما موضح في الجدول (4)، ويعود ذلك الى إن زيادة نسبة التطعيم تؤدي إلى تكوّن مستويات موضعية جديدة أسفل حزمة التوصيل وهذه المستويات مهيئة لاستقبال الإلكترونات في فجوة الطاقة البصرية وهذه المستويات تعمل باتجاه التقليل من فجوة الطاقة. وهذا يتوافق إلى حد ما مع ما توصل إليه الباحثون[4,5].

$$T = I_T / I_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث ان: **T**: النفاذية، I_T : شدة الشعاع النافذ، I_o : شدة الشعاع الاصلية.



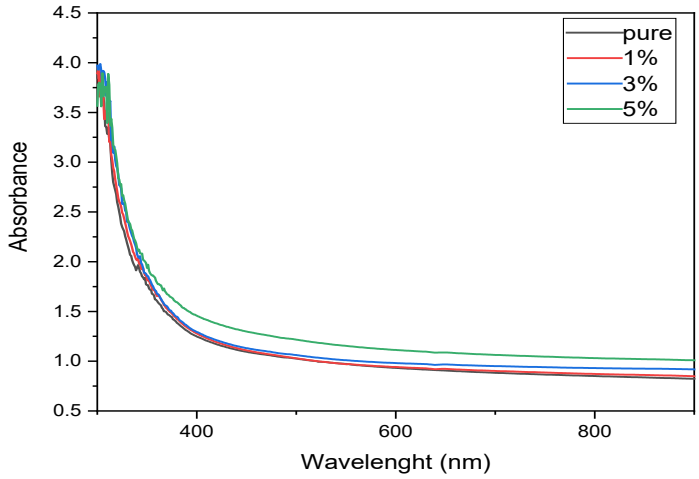
الشكل (5) طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس

جدول (4) نتائج النفاذية لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمشوبة بالنحاس

Doping %Ratio	λ_1 (nm)	% T	λ_2 (nm)	% T	λ_3 (nm)	% T
0	325	30.0696	450	57.1274	825	64.9248
1	325	27.9333	450	56.6906	825	64.1979
3	325	25.6188	450	56.0846	825	62.1928
5	325	24.0928	450	51.4118	825	59.1808

2- **الامتصاصية (A)**

تم حساب قيم طيف الامتصاصية لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس وبنسب تشويب (1,3,5) ٪ للأطوال الموجية ضمن المدى (300-900)nm وظهر أن الامتصاصية تتغير مع الطول الموجي، نلاحظ أن الامتصاصية تسلك سلوكاً معاكسا للنفاذية حيث تبدأ بأعلى قيمة لها عند الطول الموجي (300nm) ومن ثم يبدأ طيف الامتصاصية بالانحلال الأُسي مع زيادة الطول الموجي إلى أن يصل إلى أدنى قيمة عند الطول الموجي (nm850) ، بعدها يلاحظ أن قيمة طيف الامتصاصية تكون ثابتة ضمن المدى (850-900) nm كما موضح بالشكل (6) ،بسبب قلة طاقة الفوتونات الساقطة وعدم قدرتها على رفع الالكترونات من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل، إذ تكون العلاقة عكسية ما بين الطول الموجي وطاقة الفوتون، وتفسير ذلك فيزيائياً هو أن الفوتون الساقط لم يستطع تهيج الإلكترون ونقله من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل، لأن طاقة الفوتون الساقط أقل من قيمة فجوة الطاقة لغشاء(TiO_2:CdO) ولهذا تقل الامتصاصية بزيادة الطول الموجي [7]. نلاحظ ازدياد الامتصاصية بزيادة التطعيم بالنحاس وأن أعلى نسبة للامتصاصية لأغشية كانت عند نسبة تشويب (5٪)، فأن منحنيات الامتصاصية للأغشية المطعمة تسلك نفس طبيعة منحني الامتصاصية لغشاء (TiO_2:CdO) النقي، وتبين أن إضافة شوائب من النحاس وبنسب ٪ (1,3,5) إلى مادتي (أوكسيد التيتانيوم: أوكسيد الكادميوم) (TiO_2:CdO) بنسبة ٪(50:50) يعمل على زيادة الامتصاصية، لأن الحجم الحبيبي يزداد ، كذلك بسبب فجوة الطاقة البصرية لتكون مستويات لشوائب النحاس (CuO) داخل فجوة الطاقة. وهذا يتوافق مع ما توصل إليه الباحثون [4,6].

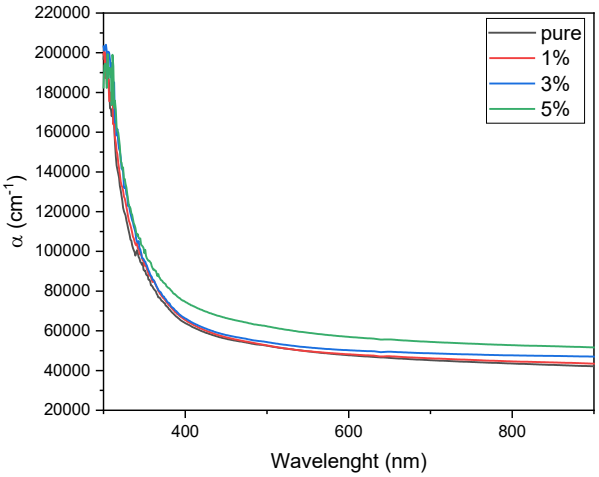


الشكل (6) طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس

3- **معامل الامتصاص (α)**

تم حساب معامل الامتصاص باستخدام المعادلة (2) ويبين الشكل (7) تغير معامل الامتصاص (α) كدالة للطول الموجي لأغشية(TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس (CuO) بنسب ٪(1,3,5)، ضمن المدى (300- 1000 nm). ومن الشكل (7)

نلاحظ إن قيمة معامل الامتصاص لغشاء (TiO_2:C-dO) النقي تتزايد بصورة تدريجية بنقصان الطول الموجي أي عند زيادة طاقة الفوتون تزداد قيم معامل الامتصاص نلاحظ أن معامل الامتصاص يزداد بزيادة طاقة الفوتون كما يزداد بزيادة نسب التطعيم والسبب في ذلك يعود الى ان الانتقال الالكتروني في نطاق هذا الطول الموجي كان كبيرا أي أن طاقة الفوتونات الساقطة كانت كافية لأثارة هذه الالكترونات وانتقالها من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل، ويعود سبب هذه الزيادة في قيمة معامل الامتصاص إلى أن التطعيم بالنحاس (CuO) أدى إلى توليد مستويات مانحة داخل فجوة الطاقة الممنوعة وقريبة من حزمة التوصيل وهذا زاد من احتمالية امتصاص الفوتونات ذات الطاقات الواطئة. وهو ما يتوافق مع [4,6,8].



الشكل (7) تغير معامل الامتصاص (α) كدالة للطول الموجي لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس (CuO)

$$I = I_o e^{-\alpha t} \quad \text{..... (2)}$$

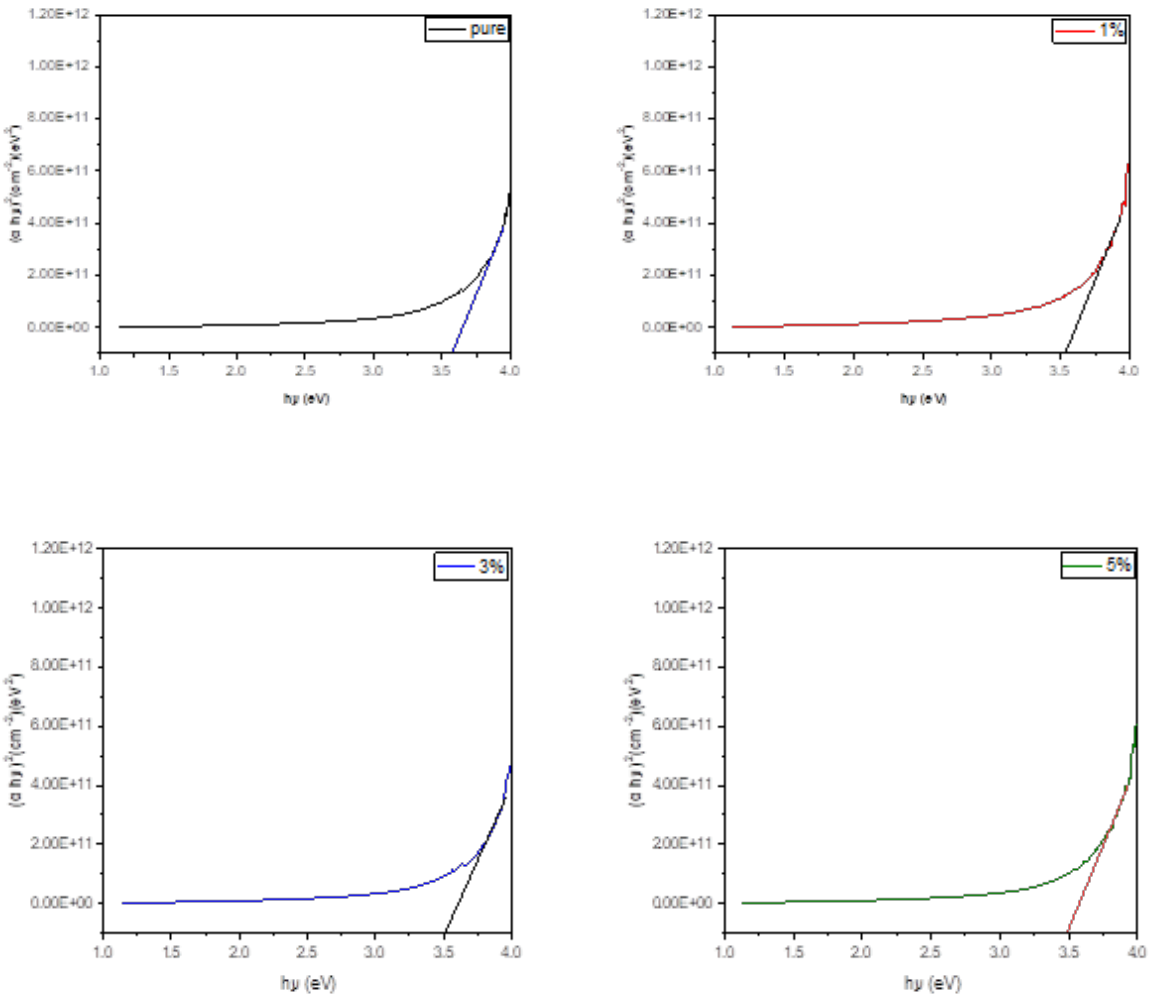
حيث ان: **I**: شدة الشعاع الممتص ، I_o: شدة الشعاع الأصلية، **α** : معامل الامتصاص، **t** : السمك

4- فجوة الطاقة البصرية

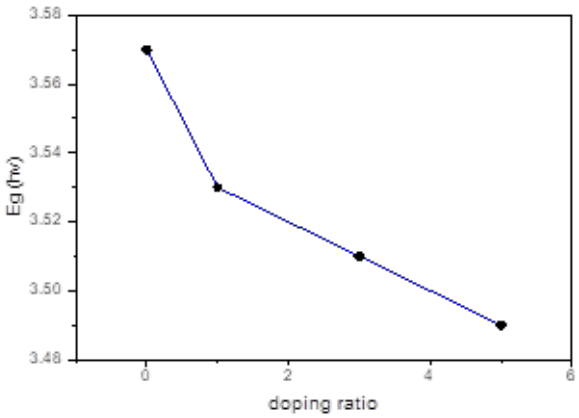
يتم حساب فجوة الطاقة البصرية وذلك برسم العلاقة الخطية بين $(\alpha h\nu)^2$ وبين طاقة الفوتون الساقط ($h\nu$) وبمد الجزء المستقيم من المنحني ليقطع محور طاقة الفوتون عند النقطة $(\alpha h\nu)^2 = 0$، أي أن نقطة القطع تمثل قيمة فجوة الطاقة البصرية (E_g^{opt}) للانتقال المباشر المسموح لأغشية (TiO_2:C-dO) النقية والمطعمة بالنحاس(CuO) وبنسب ٪ (1,3,5).. لقد أدى التطعيم إلى تناقص قيم (E_g^{opt}) مع زيادة نسب التطعيم، ويعود السبب للنقصان في قيم فجوة الطاقة إلى تكون مستويات لشوائب (CuO) داخل فجوة الطاقة ويزداد عرض هذه المستويات بزيادة نسب التطعيم مما يؤدي إلى تناقص عرض الفجوة ويبين الشكل (9) فجوة الطاقة كدالة لنسب التطعيم، وهذا يتفق مع ما توصل إليه عدد من الباحثين [9,10]. والشكل (8) يبين قيم فجوة الطاقة المباشرة لأغشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس (CuO) وبنسب ٪ (1,3,5) حيث تقل قيم فجوة الطاقة كلما زادت نسب التطعيم (2.70 – 2.60 eV)، ويبين الجدول (5) قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقالات المباشرة المسموحة.

جدول (5) قيم فجوة الطاقة البصرية الممنوعة للانتقالات المباشرة لأغـشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس (CuO) وبنسب ٪ (1,3,5)

Doping Ratio %	*Direct E_g (eV)*
0	3.57
1	3.53
3	3.51
5	3.49



الشكل (8) فجوة الطاقة البصرية المباشرة لأغـشية (TiO_2:CdO) النقية والمطعمة بالنحاس



شكل (9) فجوة الطاقة دالة لنسب التطعيم

الاستنتاجات

1- من نتائج حيود الاشعة السينية انها ذات طبيعة متعددة التبلور وذات طور أنتاس (ana-tase) وبتركيب رباعي قائم (tetragonal)، لـ ثنائي اوكسيد التيتانيوم (TiO_2)، ومكعبي (Cubic) لـ أوكسيد الكادميوم (CdO)، وكذلك نلاحظ زيادة في ألحجم البلوري.

2- أظهرت نتائج مجهر القوة ألذرية (AFM) أن الحجم الحبيبي يزداد بزيادة نسب التطعيم ليصبح (89.06-97.21)nm، كما تبين ان معدل خشونة السطح ومتوسط الجذر التربيعي تزداد قيمتها عند زيادة نسبة التطعيم،

3- تم دراسة مورفولوجيا السطح للأغشية الرقيقة بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) حيث بينت النتائج أن الحبيبات النانوية على شكل انابيب نانوية ومتكتلة ومتجمعة بأنماط وكثافات مختلفة،

4- اظهرت النتائج البصرية ان النفاذية تقل مع زيادة نسب التطعيم من أوكسيد النحاس (CuO) ، وكذلك نلاحظ أن معامل الامتصاص يزداد بزياد نسبة التطعيم،

5- واظهرت النتائج ان فجوة الطاقة البصرية لأغشية (TiO_2:CdO) النقية تقل بزيادة نسب التطعيم بـ أوكسيد النحاس (CuO).

المصادر

[1]. صلاح شهاب حمد « تحضير ودراسة الأغشية الرقيقة لأوكسيد الكادميوم النانوي المطعم بالكاليوم بطريقة التحلل الكيميائي الحراري» كلية العلوم، جامعة الانبار، (2017).

[2]. A. H. Clark, "Optical properties of polycrystalline and amorphous thin films and devices ", edited by Laurece. L. Kazemerki, Academic press, (1960).

[3]. C. A. Hampel andGessner G. Hawley , The Encyclopedia of Chemistry, 3 rd Edition , P. 169 , (1973) .

[4]. صبري جاسم محمد ، رعد قاسم عبد الأمير، «دراسة تأثير التشويب بالنيكل على بعض الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية CuO الرقيقة." مجلة ديالى للعلوم الصرفة12.1 (2016): 60-76..

[5]. Rasha H. Ahmed , Abdul Majeed E. Ibrahim , Kadhim A. Aadem "Study of the optical proprieties of copper oxide nanoparticles prepared by PLD method" Tikrit Journal of Pure Science 23 (10) (2018).

[6]. علي صلاح حسن، ناهده بخيت حسن و عدوية جمعة حيدر. «دراسة تأثير التطعيم بالمنغنيز Mn على الخصائص الطبوغرافية وبعض الخواص البصرية لغشاء كبريتيد الخارصين ZnS المحضر بتقنية الترسيب بالليزر النبضي." مجلة جامعة كربلاء 1. المؤتمر العلمي الاول لكلية العلوم -18 25. (2013) .

[7]. Ghusoon Jalil Ibrahim "Studing the Effect of Preparational Parametrs on the Strutural and Electrical Properties of ($CdSe_{1-x}Te_x$) Master Thesis, College of Science-University of Babylon (2001).

[8]. امال احمد خلف، فاطمة حسن الخطيب ومازن حامد القيسي. «دراسة الانتقالات الالكترونية والخواص البصرية لأغشية اوكسيد النحاس المشوب بالانديوم بطريقة الترسيب الكيميائي الحراري." مجلة كلية التربية .(2006): 3 .171-185

[9] ماجد فليح حداوي «دراسة تأثير التشويب بالكوبالت والنحاس على الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية اوكسيد الخارصين (ZnO) المحضرة بطريقة الترسيب بالليزرالنبضي رسالة ماجستير كلية العلوم للبنات ، جامعة بابل، (2016).

[10]. A. H. Clark , "Optical Properties of Polcrysttaline Semiconductors films " , in Polycrystalline& Amorphous thin Films & Devices edited by Lawrence. L. kazemerki, Academic Press,(1980).

[11]. Ayman Alwan Noori "The Study of the Structural, Optical and Electrical Properties of $(TiO_2)_{1-x}(CdO)_x$ Prepared by Pulsed Laser Deposition", M.Sc.Thesis, College of Education, University of Tikrit, (2011).

[12] وصفي حامد عبيد، "الخصائص التركيبية والبصرية لأغشية أوكسيد النحاس الرقيقة CuO المطعمة بالكادميوم"، رسالة ماجستير، جامعة تكريت، كلية التربية للعلوم الصرفة، قسم الفيزياء، (2020).

[13] H. S. Alia , H. R. Abd Alia , N. F. Habubia, "Physical properties of mixed TiO2-CdO thin films for gas sensor applications", Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, Vol.19, No.1, January-March 2024, p.177-186.