

## تأثير التشويب بالنحاس على الخواص التركيبية وفجوة الطاقة البصرية لأغشية

### أوكسيد النيكل النانوية المحضرة بطريقة المحلول الغروي

نور علي سامي

فؤاد شاكر هاشم

كلية التربية للعلوم الصرفة - جامعة بابل

noormaster89@yahoo.com

Foaad . hashim @yahoo.com

#### الخلاصة

في هذا البحث درست الخواص التركيبية وفجوة الطاقة البصرية لأغشية NiO النقية والمشوبة بالنحاس بتركيز مختلفة (0.01,0.05,0.1mol%) نانوية بالسلك 100nm رسبت على قواعد زجاجية بتقنية الطلاء الدوار (Spin Coating) . بينت نتائج فحوصات XRD أن جميع الأغشية متعددة البلورات من النوع المكعبي مع قمة حادة سائدة باتجاهية (111) . وقد تم حساب الحجم الحبيبي من بيانات XRD ووجد انه يزداد حجم الحبيبات بزيادة نسبة التشويب في المدى 19.11-23.05 nm . بيانات AFM أشارت إلى نعومة سطوح الأغشية النفاذية البصرية لغشاء NiO النانوي ذات مقدار كبير تصل إلى (94%) ضمن المنطقة المرئية وتستمر إلى المنطقة تحت الحمراء القريبة، تناقصت لتصل إلى (92%) مع التشويب عند نسبة 0.1mol% Cu وهذا يؤكد إمكانية استخدامها كطبقات نافذة في الخلايا الشمسية . قيم فجوة الطاقة البصرية لغشاء NiO والأغشية المشوبة بالنحاس بالنسب 0.01,0.05,0.1 mol% هي 3.73, 3.61, 3.49 eV (3.42, 3.49) على التوالي .

الكلمات المفتاحية : NiO:Cu, أغشية نانوية , طريقة المحلول الغروي.

#### Abstract

This research deals with the study of the structural and optical energy gap of NiO nano films in thickness 100nm were deposited on a glass substrate using sol-gel spin coating technique . XRD results indicated that the films are polycrystalline and have cubic structure with a preferred orientation along (111) . The average grain sizes of the crystallites estimated from XRD data was found to lie in the range of 19.11-23.05 nm. Data of AFM indicate that the surface of films is smooth . The optical transmittance value of nano NiO film reaches to 94% in the VIS and NIR regions, while it is value of films deposited with 0.1mol%Cu reaches to (92)% which is important for its applications as window layers in solar cells .The values of optical energy gap of NiO and Cu doping by 0.01,0.05, 0.1mol% were equal to 3.73 and (3.61,3.49,3.42eV) respectively.

**Keywords** : NiO:Cu, nano films, Sol-Gel method.

#### 1- المقدمة

أوكسيد النيكل (Nickel (II) Oxide) من اكاسيد المعادن الانتقالية صيغته الجزئية NiO, يمتلك فجوة طاقة مباشرة واسعة في المدى من (3.6 – 4eV) (Sato *et.al* 1993) . يمكن الحصول على اوكسيد النيكل على شكل مسحوق بلوري اخضر, وان تركيبه البلوري مشابه لتركيب كلوريد الصوديوم (NaCl), أي من نوع مكعب متمركز الأوجه (FCC), يمتلك توصيلية كهربائية من نوع الموجب (p-type) (Smith 1987) اما النحاس فهو فلز انتقالي يصنف ضمن المجموعة (I) من الجدول الدوري ,رمزه الكيميائي Cu, وترتيبه الالكتروني ( $3d^{10}4s^1$ ) وهو ذو لون اصفر عندما يتحد مع عناصر أخرى مشكلا مركبات مختلفة. التركيب البلوري للنحاس يظهر مكعب متمركز الوجه (FCC) بثابت شبكية  $a=0.361$  nm, ومن خصائص النحاس الفيزيائية هي التوصيلية الكهربائية والحرارية العاليتين, فهو يعد اشد المعادن توصيلا للكهربائية والحرارية بعد الفضة (Moon *et.al* 1988). وقد تم في هذا العمل تحضير اغشية اوكسيد النيكل النقية والمشوبة بالنحاس بطريقة المحلول الغروي باستخدام جهاز الطلاء الدوار (Spin Coating) ودرست تأثير التشويب بالنحاس على الخصائص التركيبية وفجوة الطاقة البصرية على اغشية اوكسيد النيكل .

## 2 العمل التجريبي

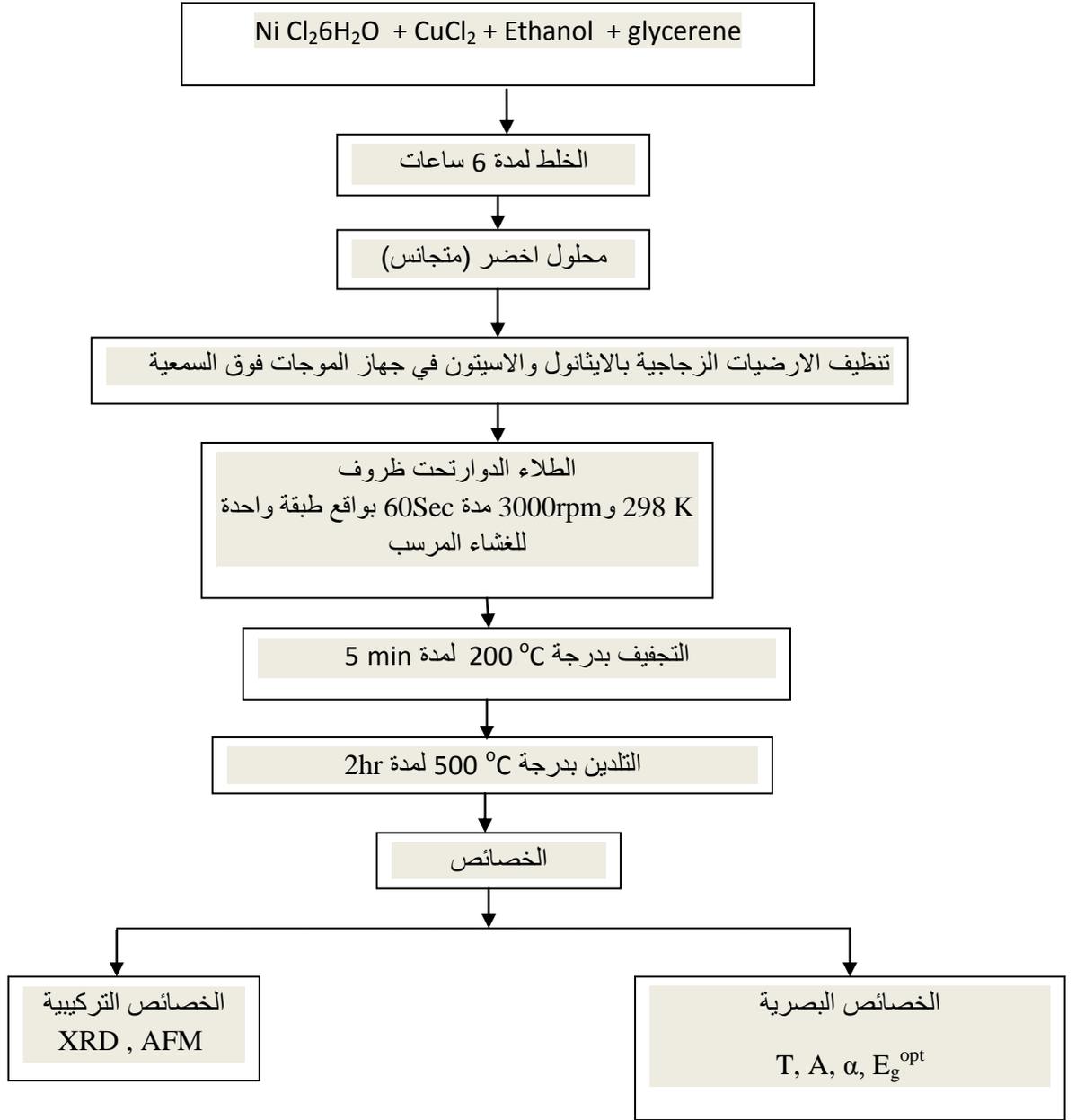
## 2-1 تحضير الاغشية

استخدمت طريقة المحلول الغروي لترسيب اغشية اوكسيد النيكل غير المشوية والمشوية بالنحاس بالنسب المولية (0.01,0.05,0.1mol%) حُضِر محلول كلوريد النيكل سداسي الماء  $NiCl_2(6H_2O)$  وزنه الجزيئي 237.69g/mol بمولارية (0.4M). يؤخذ وزن 9.5g من ملح كلوريد النيكل واذابته في 100mL من الايثانول والتحريك بصورة بطيئة لمدة ست ساعات بدرجة حرارة الغرفة باستخدام جهاز التحريك المغناطيسي Magnatic stirrer (نوع الماني الصنع) للتأكد من عدم وجود اي راسب وذوبان المادة في الايثانول بشكل تام الذي يكون مصدر لايونات النيكل . وبعد ذلك الحصول على محلول اخضر اللون متجانس Green color (solution) اضيف الكسرين بمقدار % 10(V/V), بعد ذلك تم التشويب بكلوريد النحاسيك  $CuCl_2$  بمولارية (0.01M). الاحجام المأخوذة من ايونات النحاس المضافة الى ايون النيكل للحصول على النسب المولية اللازمة لتحضير محلول NiO:Cu مثبتة في الجدول رقم (1) .

جدول (1): الأحجام المأخوذة من ايونات النحاس المضافة إلى ايون النيكل للحصول على النسب المولية اللازمة لتحضير المحلول .

Rank	$NiCl_2 (6H_2O) 0.4M$ (ml)	$CuCl_2 0.01M$ (ml)	NiO:Cu mol%
1	5	0.02	0.01
2	5	0.1	0.05
3	5	0.2	0.1

يسكب حجم  $100 \mu L$  من المحلول المختار لظروف ترسيب الأغشية على شكل قطرات على قواعد زجاجية بدرجة حرارة الغرفة لمدة 60 sec عندما تكون سرعة دوران الجهاز (Spin coating) 3000 rpm. بعدها تُعرض النماذج المحضرة لدرجة حرارة  $200^\circ C$  ولمدة 5min للتخلص من المذيب القابل للتطاير بالحرارة ثم يوضع في فرن كهربائي نوع Jinyu- 700 لغرض التلدين بدرجة حرارة  $500^\circ C$  لمدة 2hr بعد ذلك يُقاس سمك الاغشية بواسطة جهاز (Lambda LIMF-10) ويكون السمك بحدود 100nm. الشكل (1) يوضح مخطط لخطوات تحضير اغشية اوكسيد النيكل من محاليلها.



شكل (1) مخطط يوضح خطوات العمل .

## 2-2 العلاقات الاساسية :

حُسبت بعض العوامل التركيبية منها :

1- ثابت الشبكة (a) بموجب العلاقة (Sirotin *et.al* 1982) .

اذ يمثل h,k,l معاملات ميلر و  $d_{hkl}$  المسافة بين المستويات البلورية

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \quad (1)$$

2-معدل الحجم الحبيبي D

يمكن حساب معدل الحجم الحبيبي (D) باستخدام علاقة شيرر (Emmett *et.al* 1967).  

$$D=0.94 \lambda / \beta \cos(\theta) \quad (2)$$

حيث ان

$\theta$  : زاوية براك

$\beta$ : عرض المنحنى (بالزاوية النصف قطرية radian) عند منتصف الشدة العظمى (FWHM).

$\lambda$ : طول موجة الاشعة السينية الساقطة

3-كثافة الانخلاعات  $\delta$

تحسب كثافة الانخلاعات باستخدام معادلة Williamson and Smallmans (Gopal *et.al* 2005).

$$\delta = 1/ D_{av}^2 \quad (3)$$

4 - عدد البلورات N

يمكن الحصول على عدد البلورات لوحدة المساحة باستخدام العلاقة (Mahalingam *et.al* 2012).

$D_{av}$  : الحجم الحبيبي

$$t/D_{av}^3 \quad (4)$$

N =

كذلك تُحسب بعض الخصائص البصرية مثل معامل الامتصاص  $\alpha$  وفجوة الطاقة البصرية  $E_g^{opt}$  على وفق

المعادلتين الاتيتين (Tauc 1974).

حيث  $t$  : السمك , A: الامتصاصية

$$\alpha = 2.303 A / t$$

(5)

$$\alpha h\nu = \alpha_o (h\nu - E_g^{opt})^r \quad (6)$$

حيث ان  $r$  : ثابت أسي تعتمد قيمته على طبيعة الانتقالات، مقداره (1/2) للا انتقال مباشراً المسموح , وان  $\nu$  :

تردد الفوتون الساقط ,  $h\nu$  : طاقة الفوتون الممتص .

### 3. النتائج والمناقشة

#### 3-1 الخصائص التركيبية

3-1-1 حيود الاشعة السينية لاجشية NiO:Cu النانوية.

يظهر الشكل (2) طيف حيود الاشعة السينية لغشاء NiO النانوي . لوحظت انعكاسات براك بالقمم (111) و

(200) عند الزوايا  $2\theta$  ( $37.43^\circ$ ) و ( $43.23^\circ$ ) على التوالي وان قيم المسافات البينية بين السطوح العاكسة

$d_{hkl}$  والمقابلة لقيم الزوايا المذكورة هي (0.2400 nm و 0.2091 nm). ان نمو غشاء NiO النانوي ظهر

بشكل متعدد البلورات (Polycrystalline) وان قيم الانعكاسية تظهر درجة عالية من التبلور مع قمة حادة سائدة

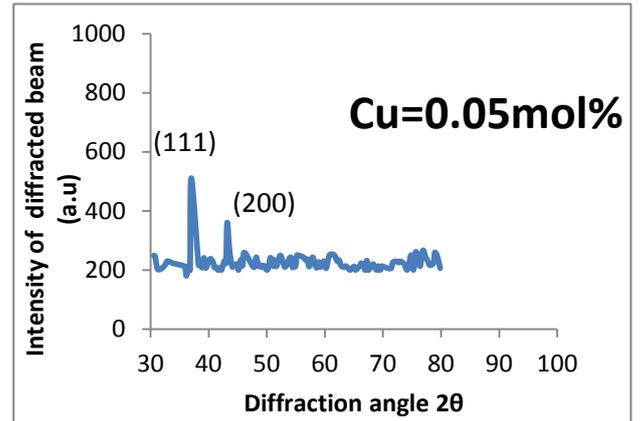
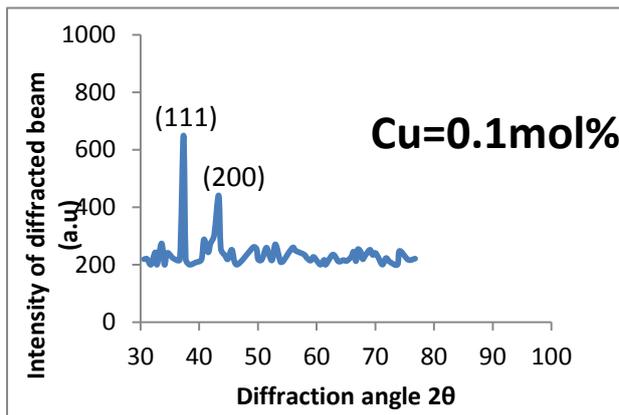
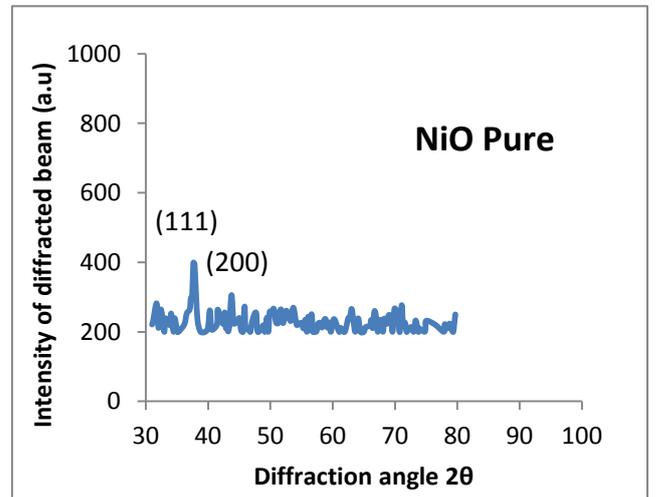
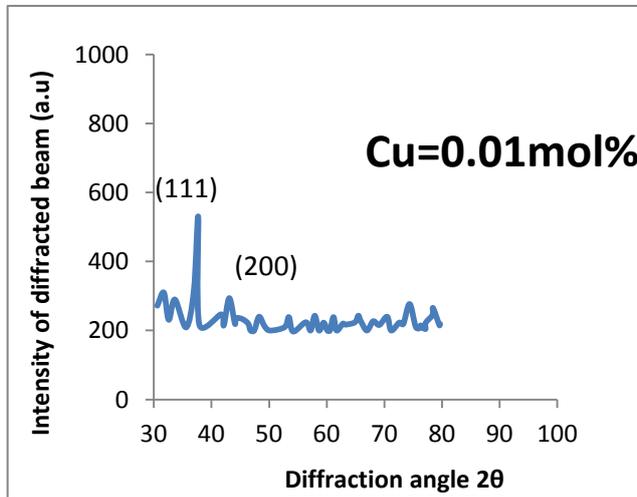
باتجاهية (111) وهذا يتفق مع نتائج بحوث سابقة (Scoffen *et.al* 2009); (Hao-Long 2006). ومن

مقارنة قيم  $d_{hkl}$  مع جدول بطاقات ASTM (card 04-0835) القياسية تأكد ان الغشاء ذو تركيب مكعبي

كذلك حُسب ثابت الشبيكة (a) وكانت تساوي 0.4171nm وهي تقريبا مساوية الى القيمة القياسية JCPDS

(0.4176 nm) (Anwer *et.al*, 2015) مع وجود نسبة خطأ مقدارها (0.11 %). تظهر الاشكال (2)

أطياف حيود الأشعة السينية لأغشية NiO النانوية المشوبة بالنيحاس Cu بالنسب المولية (0.01,0.05,0.1)mol% . لوحظت انعكاسات براك بالقمم (111) و(200) عند الزوايا  $2\theta$  ( $37.32^\circ$ ) ( $43.09^\circ$ ) (  $43.56^\circ$ ) , ( $37.40^\circ$ ) و 0.01 mol% للنسبة و ( $37.31^\circ$ )، ( $43.31^\circ$ ) للنسبة 0.05 mol% وان قيم المسافات البينية بين السطوح العاكسة  $d_{hkl}$  والمقابلة لقيم الزوايا المنكورة هي (0.2419nm) (0.2097 nm) و (0.2444 nm)،(0.2076 nm) و (0.2407 nm) ( 0.2087 nm) على التوالي. حيث يمكن أن يستدل بأن الأغشية هي متعددة البلورات ، وذات تركيب مكعبي، وان قيم الانعكاسية تظهر درجة عالية من التبلور مع قمة حادة سائدة باتجاهية (111) ايضا. حُسب ثابت الشبكة (a) وكانت تساوي 0.4192nm و 0.4189nm و 0.4172nm متسلسلة حسب نسب التشويب أعلاه. لم تظهر اطياف حيود الاشعة السينية ولادة اطوار جديدة تنسب لها قمم حيود، وان تغير في معدل الحجم الحبيبي وكثافة الانخلاعات وكذلك عدد البلورات لوحدة المساحة لوحظ مع تغير نسب التشويب كما مدون في الجدول (2)



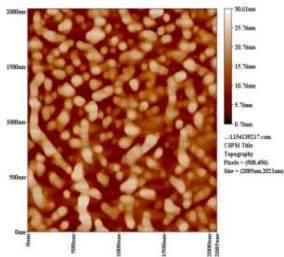
شكل (2) أطياف حيود الأشعة السينية لأغشية NiO غير المشوبة والمشوبة بالنيحاس .

جدول ( 2 ): الخصائص التركيبية لأغشية NiO غير المشوبة والمشوبة بالنحاس.

Sample	Grain size (nm)	Dislocation density ( $\delta$ ) $\times 10^{11}$ (line/cm <sup>2</sup> )	crystallites per unit area ( $N$ ) $\times 10^{-3}$ (nm <sup>-2</sup> )
NiO	19.21	2.70985	1.4106455
NiO:0.01mol% Cu	21.9	2.085027	9.520673
NiO:0.05mol% Cu	26.21	1.45568	5.553911
NiO:0.1mol% Cu	23.05	1.882166	8.165583

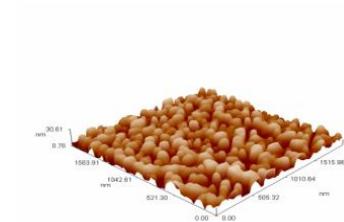
### 3-1-2 مجهر القوى الذرية (AFM)

ان فحص طوبوغرافية سطح غشاء NiO النانوي واغشية NiO المشوبة بالنحاس بنسب مولية (0.01,0.05,0.1)mol% المرسبة على قواعد زجاجية بدرجة حرارة 289K بسبك حوالي 100nm تم باستعمال مجهر القوى الذرية (AFM). يظهر من الشكل (3) الذي يمثل صور لسطوح الاغشية في بعدين (2D) وفي ثلاثة ابعاد (3D) اخذت بقوة تكبير 108 مرة , ان الاغشية تمتلك سطوحا متجانسة وناعمة يكون فيها توزيع الحبيبات البلورية منتظماً وذات أمتلائية محكمة خالية من التشققات والتقوب مما يدل على التصاقية جيدة لمادة الاغشية مع القاعدة. ان خشونة السطح لنماذج الاغشية المفحوصة ازدادت قليلا مع زيادة نسب التشويب في حالة النحاس وهذا مبين في الجدول (3) وهذا يتفق مع النتائج التي توصل اليها الباحث (Gupta *et.al* 2014), وقد يعزى ذلك الى كبر نصف القطر الايوني للنحاس مما ينتج حالة تشوه للشبيكة البلورية.

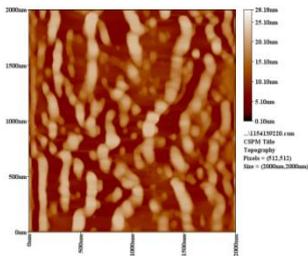


2D

NiO Pure

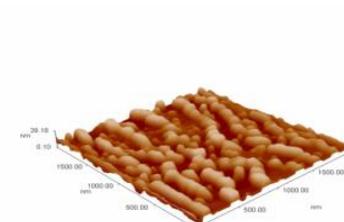


3D

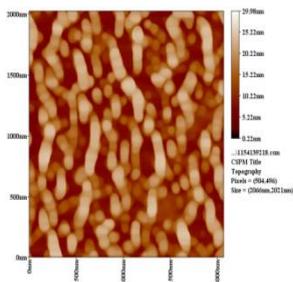


2D

NiO:0.01mol% Cu

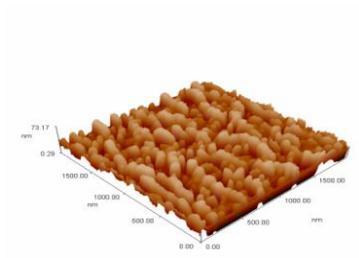


3D

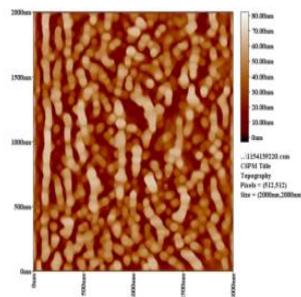


2D

NiO:0.05mol% Cu

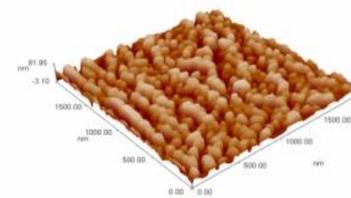


3D



2D

NiO:0.1mol% Cu



3D

شكل (3): صور مجهر القوى الذرية (AFM) لأغشية NiO النانوية غير المشوبة والمشوبة بالنحاس.

جدول (3): نتائج مجهر القوى الذرية لأغشية NiO النانوية غير المشوبة والمشوبة بالنحاس.

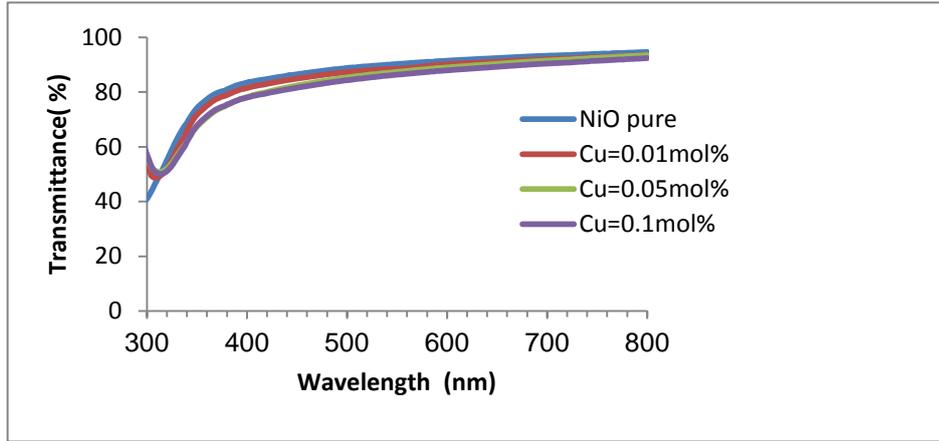
mol% of Cu	Roughness average $S_a$ (nm)	Root mean square $S_q$ (nm)	Ten point height $S_z$ (nm)
0	5.24	6.06	23.9
0.01	4.47	5.1	20.8
0.05	9.87	11.3	65.3
0.1	10.7	14	30.2

#### 4. بعض الخصائص البصرية

##### 1-4 النفاذية

يبين الشكل (4) طيف النفاذية لغشاء NiO النانوي والاعشية المشوبة بالنحاس بنسب مولية mol% (0,0.01,0.05,0.1) ضمن مدى الأطوال الموجية (300-800 nm). تظهر النفاذية منطقتين متميزتين الأولى عند الأطوال الموجية القصيرة الأقل من 360nm حيث تزداد فيها النفاذية بشكل مفاجئ تقريباً مع زيادة الطول الموجي ويعزى ذلك إلى انتقال حزمة -حزمة إذ يظهر سلوك انتقالات مباشرة مسموحة وهذا ناشئ عن الامتصاصية العالية للأغشية في تلك المنطقة. أما المنطقة الثانية وهي الأكبر من 360nm نلاحظ أن نفاذية الغشاء تكون ذات مقدار كبير تصل إلى (94%) ضمن المنطقة المرئية وتستمر إلى المنطقة تحت الحمراء القريبة. هذه النتيجة ذات أهمية كبيرة في تطبيقات الخلايا الشمسية، وهي تفوق نتائج عدد من الباحثين درسوا المركب NiO على هيئة غشاء بسمك نانوي وغير نانوي محضر بطريقة تحضير مماثلة لدراستنا وبغيرها من الطرق أيضاً (Ahmed 2014) (Nibras 2010).

في الوقت الحالي نجد الكثير من الباحثين يعمل على تطوير كفاءة التحويل للخلايا الشمسية وذلك بخفض الخسائر الناتجة من عدة مؤثرات منها ما يتعلق بتفاعل الضوء مع مادة الخلية أي الخسائر الناتجة عن الخاصية البصرية للمادة حيث تتميز أغلب أشباه الموصلات وخاصة السليكون (Si) بالانعكاسية العالية للضوء ويمكن التقليل من انعكاسية الضوء الساقط إلى أقل ما يمكن باستخدام الطلاء بغشاء مضاد للانعكاس والذي يعد من أهم الأساسيات تحسين كفاءة الخلية الشمسية حيث يقلل من نسبة الخسارة بمقدار 10% والذي يزيد من نسبة إنتاج التيار الكهربائي للخلية الشمسية 35-45% بناءً على تلك النتيجة التي حصلنا عليها تجعل من المركب NiO المحضر على هيئة غشاء بسمك نانوي كطلاء مضاد للانعكاس لتحسين كفاءة الخلية الشمسية (Kwok 1995) أما بعد التشويب بالنحاس بالنسب المولية المذكورة فقد تناقصت فيها قيم النفاذية لتصل إلى (92%) عند التشويب بنسبة 0.1mol% ضمن المنطقة المرئية وتستمر إلى المنطقة تحت الحمراء القريبة. هذا التصرف مشابه إلى بحوث سابقة مع تفوق واضح في نتائج قيم النفاذية لدراستنا الحالية (Ghamdi et.al 2009) Amit Kumar (2008). أن نقصان قيم النفاذية مع زيادة نسب التشويب قد يعزى ذلك إلى تكون مستويات موضعية لشوائب النحاس داخل فجوة الطاقة التي تؤدي إلى زيادة الامتصاصية وهذا واضح نقصان قيم فجوة الطاقة البصرية للانتقالات الإلكترونية المباشرة المسموحة (Anwer et.al 2015) أن انتظام المنحنيات في طيف النفاذية يؤكد التجانس العالي للسلك في الأغشية المرسبة بالطريقة المعتمدة في هذا البحث.

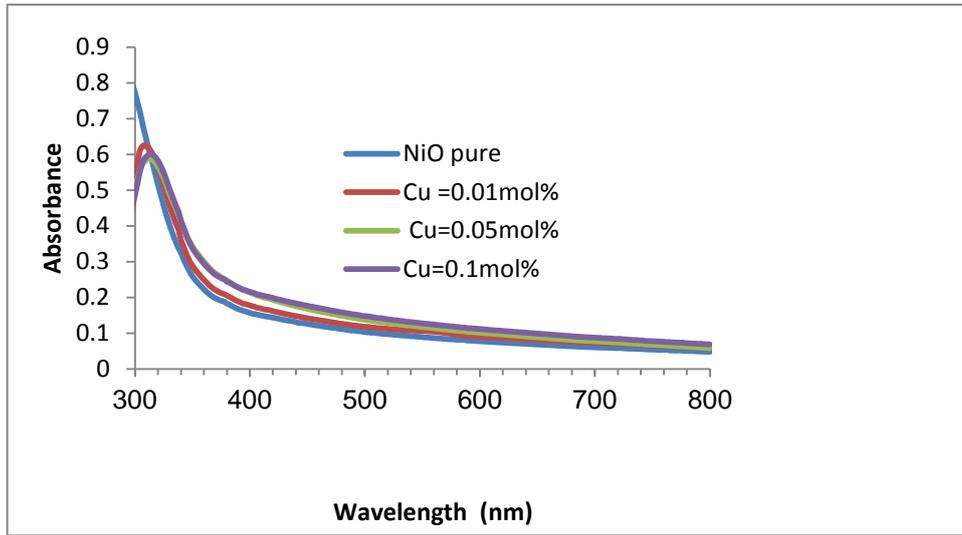


شكل (4) طيف النفاذية كدالة للطول الموجي لغشاء NiO النانوي والاعشية المشوبة بالنحاس .

#### 2-4 الامتصاصية

الشكل (5) يمثل طيف الامتصاصية لغشاء NiO النانوي والاعشية المشوبة بالنحاس بنسب مولية (0,0.01,0.05,0.1)mol% ضمن الاطوال الموجية (300-800nm). ان الامتصاصية لجميع الاعشية تكون ذات مقدار كبير عند الاطوال الموجية المجاورة لحافة الامتصاص الاساسية (320-360nm) بعدئذ تقل مع زيادة الطول الموجي. بصورة عامة يمكن القول ان امتصاصية الاعشية تاخذ قيم منخفضة في منطقة الطيف المرئي وتحت الحمراء القريبة، هذا السلوك يمكن ان يفسر على النحو الاتي:

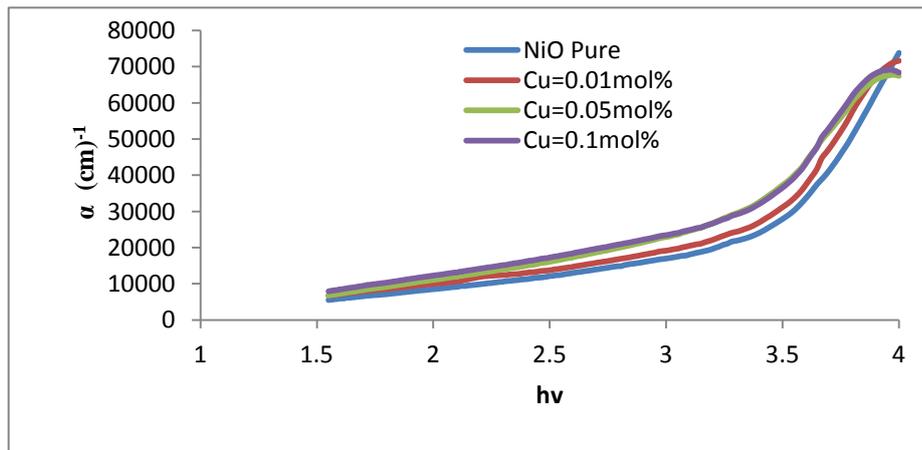
عند الاطوال الموجية العالية فوتونات الضوء الساقط لاتملك الطاقة الكافية لعمل تفاعل مع ذرات المادة وان الفوتون ينفذ، وعندما تقل الاطوال الموجية (المنطقة المجاورة لحافة الامتصاص البصري) فان تفاعل فوتونات الضوء الساقط والمادة يحدث والامتصاصية سوف تزداد (Streetman *et.al* 2000). ان قيم الامتصاص التي تظهر في منطقة الاطوال الموجية الاقل من 320nm تزحف باتجاه الاطوال الموجية العالية (Red shift) مع زيادة نسبة التشويب وهذا يفترض نقصان في فجوة الطاقة البصرية كما سيتبين ذلك في البند (4.4) ان هذا يتفق مع بحوث سابقة (Weiliu *et.al* 2011). ومن الشكل يظهر انه بعد الطول الموجي 320nm لاتوجد قيم امتصاص وهذا ناشىء من تفوق النفاذية للاعشية في تلك المنطقة من الطيف المرئي. ان قيم الامتصاصية تزداد بزيادة نسب التشويب لزيادة الحجم الحبيبي وايضا بسبب نقصان فجوة الطاقة البصرية لوجود مستويات موضعية لشوائب النحاس داخل فجوة الطاقة.



شكل (5) طيف الامتصاصية كدالة للطول الموجي لغشاء NiO النانوي والاعشوية المشوبة بالنحاس.

#### 3-4 معامل الامتصاص ( $\alpha$ )

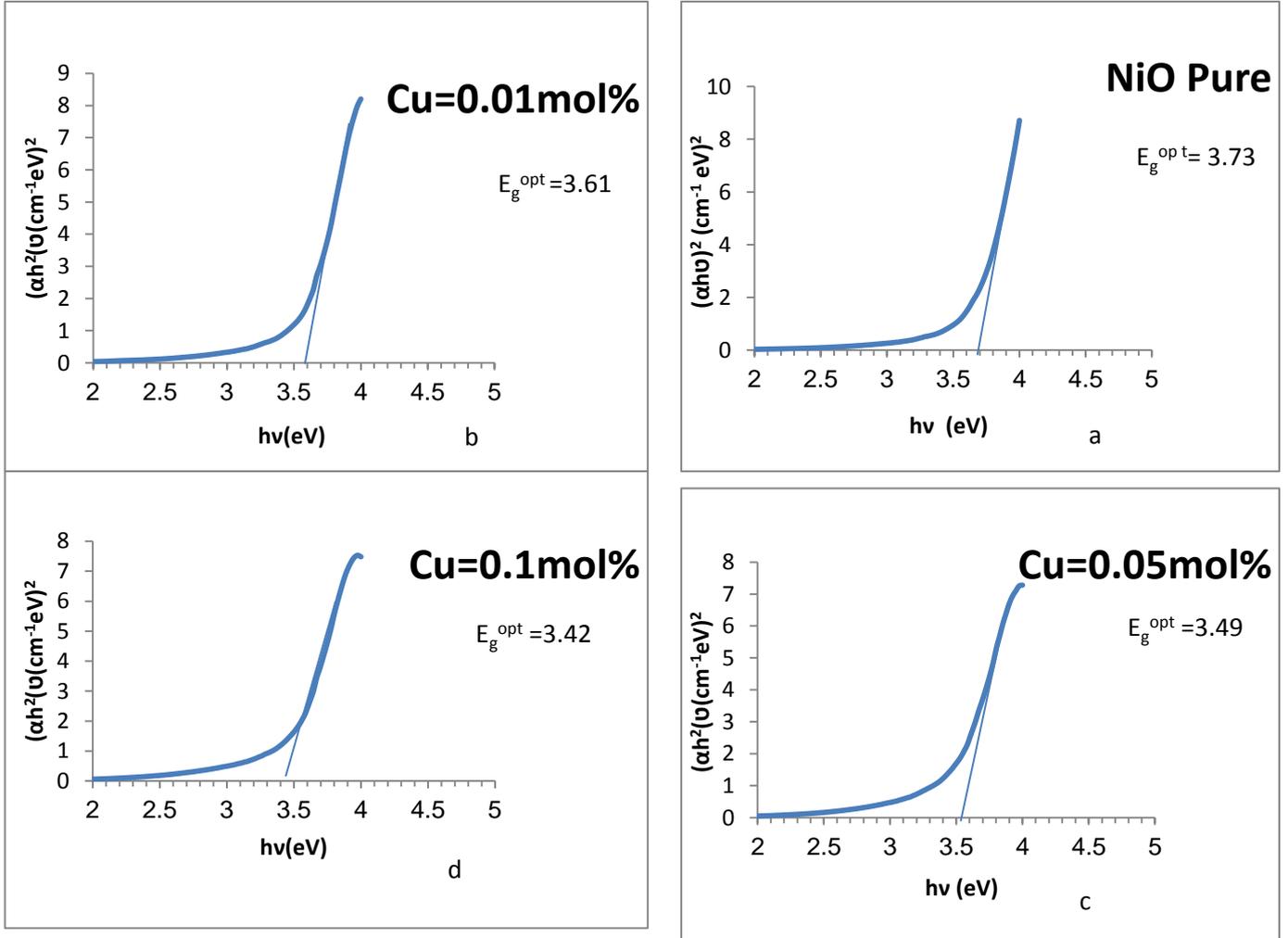
الشكل (6) يعرض تغير معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) لغشاء NiO النانوي والاعشوية المشوبة بالنحاس بنسب مولية (0.01, 0.05, 0.1) mol% كدالة لطاقة الفوتون الساقط ( $h\nu$ ). اذ نلاحظ ان معامل الامتصاص يزداد تدريجيا مع زيادة طاقة الفوتون ثم يزداد بشكل اسرع في مدى الطاقة (3.5-3.9 eV) وهذا يتفق مع بحوث سابقة (Anwer et.al 2015). من هذه الزيادة يمكن التعرف على حافة الامتصاص الاساسية وحدوث الانتقالات بين حزمة التكافؤ والتوصيل. ان قيمة معامل الامتصاص عند طاقة الفجوة (3.5 eV) تساوي حوالي ( $3 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ )، وهذا يشير الى حصول انتقالات الكترونية مباشرة يستدل منها على نقصان في قيم فجوة الطاقة البصرية، وهذا يعزى الى تكون مستويات موضعية قريبة من حزمة التوصيل. ان زيادة معامل الامتصاص نتيجة التشويب يعطي احتمالية واردة باستخدام هذا الغشاء في الخلايا الشمسية والكواشف.



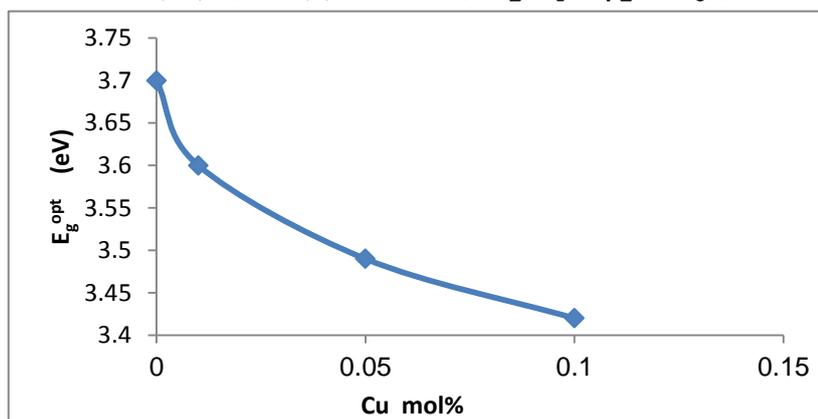
شكل (6) قيم معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون الساقط لغشاء NiO النانوي والاعشوية المشوبة بالنحاس.

#### 4-4 فجوة الطاقة البصرية $E_g^{opt}$

تم الحصول على قيمة فجوة الطاقة المباشرة المسموحة من مد الجزء المستقيم (المماس) من المنحني النتائج ليقطع محور طاقة الفوتون  $h\nu$  عند  $(ah\nu)^2=0$ . بلغت قيم فجوة الطاقة البصرية المباشرة المسموحة لغشاء NiO نانوي السمك (100nm) القيمة (3.73eV) كما في الشكل (7-a)، حيث تقع ضمن مدى القيم القياسية لفجوة الطاقة (3.6-4eV) (Gupta *et.al* 2014) وهي متوافقة مع بحوث منشورة لغشاء NiO نانوي السمك (50nm) المحضر بالتقنية نفسها (3.9eV) (Scoffen *et.al* 2009). حيث وجد انه كلما اتجهت المادة الى تركيب ذات مقياس نانوي فان مستويات الطاقة في شبه الموصل تصبح اكثر انفصلاً من بعضها الاخر وان فجوة الطاقة المؤثرة تزداد. ايضا يبين الشكل (7) تأثير التشويب بذرات النحاس على قيم فجوة الطاقة البصرية لغشاء NiO نانوي السمك. نلاحظ ان قيم فجوة الطاقة للانتقال المباشر المسموح تتناقص بشكل تدريجي مع زيادة التشويب كما مبين في الشكل (8) (3.42,3.49,3.61eV) وهذا يعزى الى حصول تغيرات في تجانسية المستويات الموضعية وكثافتها والتي تزداد مع زيادة تركيز Cu في الاغشية المرسبة اي زيادة حاملات الشحنة.



شكل (7) الانتقالات الالكترونية المباشرة المسموحة لأغشية NiO النانوية المشوبة وغير المشوب بالنحاس.



شكل (8) تغير فجوة الطاقة البصرية مع نسب التشويب لاغشية NiO:Cu النانوية

### الاستنتاجات

بينت نتائج XRD لغشاء NiO النانوي والاعشية المشوبة بالنحاس بالنسب المولية (0.01,0.05,0.1mol%) بانها متعددة البلورات ذات تركيب مكعبي وان الاتجاه المفضل للحبيبات البلورية هو (111). كما واطهرت بيانات AFM ان الاعشية تمتلك سطوحا متجانسة وناعمة يكون فيها توزيع الحبيبات البلورية منتظم. قيمة النفاذية لغشاء NiO النانوي هي 94% ضمن المنطقة المرئية وتستمر الى المنطقة تحت الحمراء القريبة وهي تجعلها ملائمة للاستخدام كطبقات نافذة للخلايا الشمسية. اما فجوة الطاقة البصرية لغشاء NiO والاعشية المشوبة بالنحاس بالنسب اعلاه كانت تساوي (3.42 , 3.49 , 3.61 , 3.73) eV على التوالي .

### المصادر

- Ahmed J. Hassan, (2014) " Study of optical and electrical properties of nickel oxide (NiO) thin films deposited by using a spray pyrolysis technique", Journal of Modern Physics. 5,2184-2191.
- Amit Kumar Srivastava, Subhash Thota and Jitendra Kumar (2008), "Preparation, Microstructure and Optical Absorption Behaviour of NiO Thin Films", Journal of Nanoscience and Nanotechnology. 89, 4111–4115.
- Al- Ghamdi, A.A. Waleed E, Mahmoud, S.J. Yagmour, F.M.Al-Marzouki (2009), "Structure and optical properties of nanocrystalline NiO thin film synthesized by sol-gel spin-coating method ", Journal of Alloys and Compounds. 486, 9-13.
- Streetman, B.G. and S.Bonerjee, (2000), "soild state electronic devices", 5<sup>th</sup> cdition, Engle wood cliffs, Njprentice it all.
- Anwar H. Ali, Raania R.and Kadhim (2015), " Effect of copper doping on the some physics properties of NiO thin films prepared by chemical spray Pyrolysis", International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management 4, 2314-4847.
- Emmett F. Kaelble, (1967),"Handbook of X-rays".
- Hao-Long Chen, Yang-Ming Lu and Weng-Sing Hwang (2006), "Thickness dependence of electrical and optical properties of sputtered Nickel oxide films", Science Direct 514, 361–365.
- Tauc, J. (1974), "Amorphous and Liquid Semiconductors", Plenum Press, London.
- Kwok. K.Ng. (1995)," complete Gaide semiconductor devices ", McGraw Hill, Inc.1<sup>st</sup>, 577.

- Moon , J. T and IM , H .B, (1988), " Effects of copper doping on the electronic properties of Cds films sintered with CdCl<sub>2</sub>" , J. of mater science , 23 ,pp 3475-3487.
- Nibras F. Al-Shammary (2010), " Optical characteristics of NiO thin film on glass formed by chemical spray pyrolysis" , Journal of Kufa – physics. 2.
- Smith, R .A. (1987), "Semiconductors " , 2<sup>nd</sup> Edition , Combride University press.
- Gupta, R.K.; A.A.Hendi ,M.Cavas, Ahmed A.Al-Ghamdi, Omar A.Al- Hartomy , R.H.Aloraini , F.El-Tantawy, F.Yakuphanoglu (2014)," Improvement of photoresponse properties of NiO/p- Si photodiodes by copper dopant", Physica E .56, 288-295N.
- Sato, H ., Minami, T.,Takata , S and Yamaela, T. (1993), "Thin solid films", 236-27.
- Scoffen and John , ( 2009),"The useful metal and their alloy", Houlson and wright , pp 591-603.
- Gopal, S.; B .Karunagaran, Sa. K. Narayandass, D. Mangalaraj and Junsin Yi, (2005),"Cryst. Res. Technol.", No. 6, p 557.
- Mahalingam T. 1, V. Dhanasekaran, R. Chandramohan, and Jin-Koo Rhee, (2012), "Microstructural properties of electrochemically synthesized ZnSe thin films", Journal of Material Science, Vol. 47, pp. 1950–1957.
- Weiliu, Lixin Cao, Jingwang, Zheng Dong , Meiqin Song , (2011)," Optical and electrochemical properties of Cu-doped NiO films prepared by electrochemical deposition", Applied Surface Science , vol 257, 3974-3979.
- Sirotin Y. and M. Shaskolskaya, (1982),"Fundamental of Crystal Physics", Mir Publishers, Moscow.