

## تأثير التشويب بالنحاس Cu على الخواص البصرية للأغشية فرايت الزنك ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>

غفران جليل عبد السادة سليم عزارة حسين

جامعة القادسية

Ghafran\_altiee88@gmail.com

**الخلاصة:** تم في هذا البحث دراسة تأثير التشويب بالنحاس على الخصائص البصرية لفرايت الزنك المرسبة على قواعد زجاجية من الكوارتز للنسب (0,1,3,5,7and 9%) باستخدام طريقة الرش الكيميائي الحراري ذات السمك (300±15 nm) في درجة حرارة (400±10°C) وتلدين (520 °C) لمدة (4h) ، تم تحديد الخواص البصرية للأغشية في مدى الأطوال الموجية من (300-900)nm، فقد وجد ان فجوة الطاقة قبل التشويب (2.86 eV) وقد زادت فجوة الطاقة بزيادة نسبة التشويب عند النسب (1,3and 5%) ثم قلت فجوة الطاقة عند النسب (7and9%) كذلك وجد ان اعلى قيمة لمعامل الانكسار عند نسب التشويب (0,09) وقيمته (2.65) ولمعامل الامتصاص عند النسبة (0.09) وقيمته (3x10<sup>4</sup>) ولمعامل الخمود عند النسبة (0.09) وقيمته (0.125).

**الكلمات المفتاحية:** معامل الامتصاص، التوصيلية البصرية، فجوة الطاقة، التشويب.

### The effect of copper casting on the optical properties of the ZNFE2O4 zinc membranes

#### Abstract:

In this research ,the effect of the copper doping on Optical properties of zinc Firrete precipitated on the glass Substrate of quartz have been studied,with ratios of Cu (0,1,3,5,7and9%) using the method of chemical spray Payrolysis of thickness(300 ± 15nm) at a temperature (400 ± 10 °C) and annealing (520 °C) for range of (4h) the Optical properties have been identified of films wavelengths of (300-900) nm , it has been found that the energy gap before doping(2.86 eV) the energy gap increased to increase the proportion of doping the ratios (1,3and 5%) the energy gap at ratios (7 and9%) also found that the highest value of the refractive index at doping ratios (0,09) and value (2.65) and the coefficient of absorption at the ratio (0.09) and the value of(3x10<sup>4</sup>), Extinction at a Ratio (0.09) and the value of (0.125).

**Key words:** Absorption coefficient, optical conductivity, power gap, web

#### المقدمة:

أنصب اهتمام الباحثين في بداية القرن التاسع عشر بالتركيز في دراسة أشباه الموصلات وذلك لما تمتلكه تلك المواد من مميزات مثل تغير توصيليتها بالحرارة والضوء والمجال المغناطيسي وبسبب هذه الخواص كان للمواد شبه الموصلة أهمية بالغة في التطبيقات التكنولوجية [Tahiret al.,2010]. حيث تقسم المواد البلورية الصلبة حسب قدرتها على التوصيل الكهربائي الى مواد موصلة (conductors) ومواد عازلة (Insulators) ومواد شبه موصلة (semiconductors) وهذا التصنيف بالاعتماد على حزمة الطاقة (energy band).

في درجة الصفر المطلق (OK) تكون المواد شبه الموصلة عازلة تماما للتوصيل الكهربائي ويزيادة درجة الحرارة تبدأ هذه المواد بزيادة قابليتها للتوصيل الكهربائي ومن أهم المجالات التي تستخدم فيها هذه المواد هي التطبيقات التكنولوجية وذلك لما تمتلكه من خواص مميزة [Joshi and Yadav,2014]. تعد الأغشية الرقيقة احد فروع فيزياء الحالة الصلبة ويعد في الوقت الحاضر علما مستقلا بحد ذاته حيث ينحصر

علم الأغشية الرقيقة على المواد التي لايتجاوز فيها سمك النبائط الناتجه عنها اقل من (1µm) [Manikandan et al., 2013] ويعود الفضل في تطور دراسة أشباه الموصلات للأغشية الرقيقة.

حيث مرت الأغشية الرقيقة بعدة مراحل لتصل الى ماهي عليه وكانت أول بداية لها عندما استخدم العالمان (Bunsen and Grove) في عام 1852 تقنية التفاعل الكيميائي لإنتاج أغشية رقيقة وفي عام 1857 استخدمت تقنية التبخير الحراري من قبل العالم فرادي للحصول على غشاء رقيق وفي سنة 1876 تم الحصول على أغشية رقيقة من السيلينيوم المرسبة على البلاتين من قبل العالم (Adams)، واستمر الاهتمام بتحضير ودراسة الأغشية الرقيقة من خلال قياسات كل من (Qunik) و (Fizeau) و (Jamin) والجانب النظري من قبل العالم (Drude) [Manikandan et al., 2013; Chatterjee et al., 2014].

## الجانب النظري:

### 1- حافة الامتصاص الأساسية

تمثل حافة الامتصاص الزيادة السريعة في الامتصاص عندما تكون طاقة الإشعاع الممتصة مساوية تقريبا الى طاقة الفجوة، ففي المواد البلورية تمثل حافة الامتصاص اقل فرقا بالطاقة بين أعلى نقطة في حزمة التكافؤ واقل نقطة في حزمة التوصيل، ونتيجة لوجود مستويات موضعية ضمن فجوة الطاقة الذي يجعل زيادة الامتصاص تدريجية في كثير من أشباه الموصلات تكون حافة الامتصاص عريضة في أشباه الموصلات متعددة البلورات والعشوائية [Mwolfeet al., 1989; Clark, 1980; يحيى، ١٩٩٠].

يمكن تمييز ثلاث مناطق للامتصاص البصري في المواد شبه الموصلة كالاتي [Khadyer, 2005]:

### 1-1 منطقة الامتصاص العالي

يكون مقدار معامل الامتصاص ( $\alpha$ ) اكبر أو يساوي ( $10^4 \text{cm}^{-1}$ )، ان منطقة الامتصاص العالي والنتيجة عن الانتقالات الالكترونية من الحالات الممتدة في حزمة التكافؤ الى الحالات الممتدة في حزمة التوصيل ويمكن من خلال هذه المنطقة التعرف على فجوة الطاقة البصرية المحصورة.

$$(\alpha \text{ hv}) = B_x (\text{hv} - E_g)^r \dots\dots\dots(1)$$

إذ:

$B_x$ : ثابت يعتمد على طبيعة المادة.

$E_g$ : فجوة الطاقة البصرية .

$h\nu$ : طاقة الفوتون الممتص.

$r$ : قيمة تعتمد على طبيعة الانتقالات تأخذ القيم (1/2، 3/2) للانتقالات المباشرة و (2، 3) للانتقالات غير المباشرة.

## 2-1 المنطقة الآسية

وتتراوح قيمة معامل الامتصاص في هذه المنطقة بين ( $1-10^4 \text{ cm}^{-1}$ ) وتتم فيها الانتقالات من المستويات الممتدة في حزمة التكافؤ إلى المستويات الموضعية في قعر حزمة التوصيل وكذلك من المستويات الموضعية في حزمة التكافؤ إلى المستويات الممتدة في حزمة التوصيل [يحي، ١٩٩٠]. يمثل معامل الامتصاص في هذه المنطقة بعلاقة (Urbach):

$$\alpha = \alpha_0 e^{hv/E_u} \dots\dots\dots (2)$$

إذ

$\alpha_0$  : ثابت .

$E_t$  : عرض ذيل الحالات الموضعية.

## 3-1 منطقة الامتصاص الضعيف

وتكون قيمة معامل الامتصاص صغيرة جدا ( $\alpha < 1 \text{ cm}^{-1}$ ) وتمثل الانتقالات بين الذبول الطاقية داخل الفجوة البصرية الناتجة من العيوب البلورية .

## 4-1 الثوابت البصرية

هنالك عدة طرق لإيجاد الثوابت البصرية والمتمثلة بـ (معامل الامتصاص  $(\alpha)$ ، معامل الانكسار  $(n_0)$ ، معامل الخمود  $(k_0)$ ، ثابت العزل بجزئيه الحقيقي  $(\epsilon_1)$  والخيالي  $(\epsilon_2)$ ).

### 1-4-1 معامل الامتصاص

يعرف معامل الامتصاص على انه قياس لنسبة الخسارة في الضوء من الحزمة الساقطة مباشرة في سمك معين [Pippek,2006]، وبذلك فهو يمثل النقصان الحاصل في طاقة الإشعاع الكهرومغناطيسي عند دخوله لوسط معين [French et al., 1998]. يعتمد معامل الامتصاص  $(\alpha)$  على خواص شبه الموصل من حيث فجوة الطاقة ونوع الانتقالات الالكترونية التي تحدث بين حزم الطاقة وعلى طاقة الفوتونات الساقطة ( $h\nu$ ) من خلال العلاقة الآتية:

$$E = E = hv \dots\dots\dots (3)$$

عندما تكون طاقة الفوتون الساقط اقل من قيمة فجوة الطاقة فإن الفوتون سوف ينفذ ويعبر عن النفاذية هنا بالعلاقة الآتية :

$$e^{-\alpha T} = (1 - R)^2 \dots\dots\dots (4)$$

ومنها نحصل

$$\alpha = \frac{A}{T} 2.303 \dots\dots\dots (5)$$

### 2-4-1 معامل الخمود

يمثل معامل الخمود كمية الطاقة الممتصة في الغشاء الرقيق، أو بتعبير آخر كمية ما تمتصه إلكترونات المادة من طاقة الفوتونات الساقطة، أي إنه يمثل الخمود أو التوهين الحاصل للموجة الكهرومغناطيسية داخل المادة، يمثل معامل الخمود الجزء الخيالي من معامل الانكسار. ويعطى معامل الخمود بالعلاقة الآتية [Echertova,1977; يحيى، ١٩٩٠]:

$$K_0 = \alpha\lambda/4\pi \dots\dots\dots(6)$$

ويلاحظ من المعادلة ان معامل الخمود يعتمد بصورة أساسية على الطول الموجي الساقط ومعامل الامتصاص ( $\alpha$ ) الذي يعتمد على نوعية المادة.

### 3-4-1 معامل الانكسار

يعرف معامل الانكسار ( $n_0$ ) على انه النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ الى سرعته في الوسط، بتغير الحجم الحبيبي يتغير معمل الانكسار حتى لو كان التركيب البلوري نفسه ويعطى بالعلاقة الآتية [Kasap,2002]:

$$n_0 = c/v \dots\dots\dots(7)$$

تم حساب معامل الانكسار بتطبيق العلاقة الآتية:

$$n = \frac{1 + \sqrt{R}}{1 - \sqrt{R}} \dots\dots\dots (8)$$

### 4-4-1 ثابت العزل

ان عملية امتصاص الطاقة في المادة يسبب تفاعل بين الضوء وشحنات الوسط، وبالتالي حصول الاستقطاب (Polarization) لشحنات ذلك الوسط، أي بمعنى آخر حدوث فقدان في الطاقة نتيجة تفاعل الضوء مع شحنات الوسط وما ينتج عنه من استقطاب للشحنات ، ، إن هذا الاستقطاب يوصف غالباً بثابت العزل المعقد للوسط ( $\epsilon$ ) ، الذي يعرف بالعلاقة الآتية [Chopra and Kaur,1983;Ndukwe,1996] :

$$\epsilon = \epsilon_1 + i\epsilon_2 \dots\dots\dots(9)$$

إذ :

$\epsilon$  : ثابت العزل المعقد .

$\epsilon_1$  : الجزء الحقيقي من ثابت العزل .

$\epsilon_2$  : الجزء الخيالي من ثابت العزل .

ويرتبط ( $\epsilon$ ) بمعامل الانكسار المعقد بالعلاقة الآتية:

$$\epsilon = N^2 \dots\dots\dots(10)$$

ويمكن كتابة الجزء الحقيقي والجزء الخيالي لثابت العزل بالشكل الآتي :

$$\epsilon_1 = n_0^2 - k_0^2 \quad \dots\dots\dots ( 11 )$$

$$\epsilon_2 = 2n_0k_0 \quad \dots\dots\dots ( 12 )$$

يمثل الجزء الحقيقي مقياس الطاقة المخزونة في المادة ، الجزء الخيالي يمثل مقدار الطاقة المتبددة على شكل حرارة.

#### 5-4-1 التوصيلية البصرية

تعرف التوصيلية البصرية على انها الزيادة الحاصلة في عدد حاملات الشحنة (الالكترونات، او الفجوات) نتيجة لسقوط حزمة ضوئية على شبه موصل، يمكن حساب التوصيلية البصرية عن طريق العلاقة الآتية [Johnson,2005].

$$\sigma_{opt} = \alpha n c / 4 \pi \quad \dots\dots\dots(14)$$

إذ:

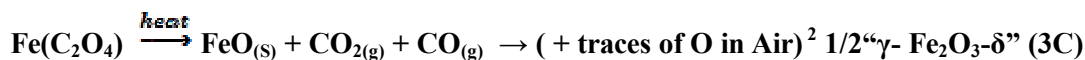
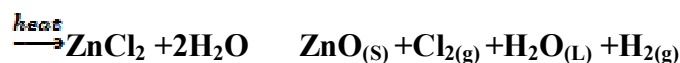
$\alpha$  معامل الامتصاص،  $n$  معامل الانكسار،  $c$  سرعة الضوء وتقاس التوصيلية الضوئية بوحدة  $s^{-1}$ .

#### الجانب العملي:

#### طريقة التحضير

لتحضير المحاليل المستخدمة في تحضير أغشية فرايت الزنك-نحاس ( $Zn_{1-x}Cu_xFe_2O_4$ ) تم استخدام مادة كلوريد الزنك ( $ZnCl_2$ ) والمجهزة من شركة (Himedia) الهندية وهي مادة بشكل مسحوق ابيض ذات وزن جزيئي (136.30) ونقاوة 97% ومادة نترات النحاس المائية ( $Cu(NO_3)_3 \cdot 3H_2O$ ) والمجهز من شركة (Himedia) الهندية وهي مادة بشكل مسحوق ازرق ذات وزن جزيئي (241.60) ونقاوة 95% ومادة اوكزلات الحديد الثنائي ( $Fe(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O$ ) والمجهز من شركة (Purum) السويسرية وهي مادة بشكل مسحوق اصفر اللون ذات وزن جزيئي (179.90) ونقاوة 98% .

تم تحضير هذا المحلول بإذابة كميات مناسبة من ( $Fe(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O$ ) ، ( $Cu(NO_3)_3 \cdot 3H_2O$ ) ، ( $ZnCl_2$ ) في الماء المقطر للنسب (0,1,3,5,7and9%) ولضمان الذوبان التام للمحاليل يستخدم خلاط مغناطيسي (Magnetic Stirrer) ومجهز من شركة (LASSCO) الهندية ويترك كل محلول على حدة لمدة (50 min) على الخلاط إلى أن يتم الحصول على محاليل مجانية وخالية من إي شوائب أو عوالق، حيث تم رش المحلول الناتج على قواعد من الكوارتز في درجة حرارة ( $400 \pm 10^\circ C$ )، وكانت الأغشية الناتجة ذات التصاقية جيدة مع السطح. وبفعل عملية التحلل الكيميائي نحصل على غشاء ( $Zn_{1-x}Cu_xFe_2O_4$ ) الرقيق وعلى وفق المعادلات الكيميائية الآتية :

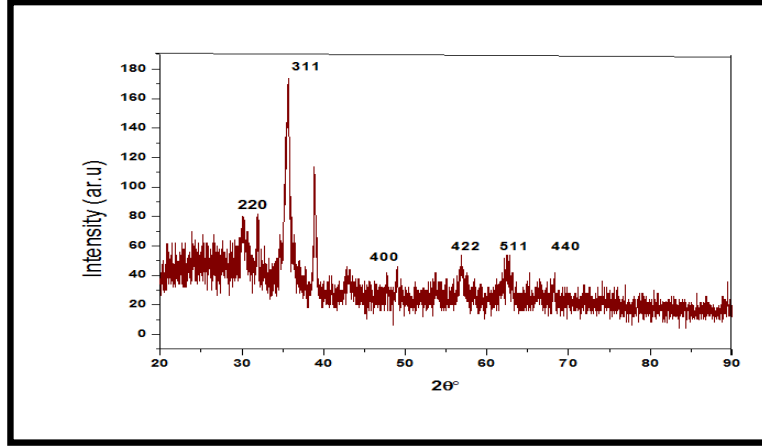


### ترسيب الأغشية الرقيقة

توضع قواعد الكوارتز على المسخن الكهربائي في المنتصف تقريبا، بحيث تكون مناسبة من ناحية التوزيع الحراري للمسخن ومن ناحية بعد سطح القاعدة عن فوهة جهاز الرش، بحيث نقوم بالتأكد من ان المحلول يسقط بصورة عمودية على جميع أجزاء هذه القواعد. ويتم التحكم في كمية المحلول عن طريق فتح صمام نزول المحلول من جهاز الرش وصولا الى الكمية المطلوبة والتي يحسب منها معدل التريزيد. تترك الأرضية لمدة مناسبة من (10-15min) بل البدء بعملية الترسيب لضمان وصول سطح الأرضيات الى درجة الحرارة التي يتحقق عندها التجانس الحراري بين الأرضية و سطح المسخن، وعند الوصول الى درجة الحرارة المطلوبة ( $400 \pm 10^\circ\text{C}$ ) من خلال ملاحظة العداد الرقمي (Digital)، تبدأ عملية رش المحلول المحضر ب تقنية جهاز الرش والتي سعتها (20ml) عن طريق فتح صمام الرش، ويتم التحكم بضغط الهواء عن طريق مسيطر قياس الضغط في مضخة الهواء (Air Pump)، إذ كان ضغط الهواء المستخدم في بحثنا هو (1bar)، ومن الضروري ان تترك الأرضيات على المسخن الكهربائي الى ان تصل الى درجة حرارة الغرفة بعد إكمال عملية الرش وذلك للسماح للأغشية بإكمال عملية الأكسدة Oxidation والإنباء البلوري ولتجنب تكسر الغشاء عند محاولة رفع العينة بصورة مفاجئة عن سطح المسخن نتيجة اختلاف درجات الحرارة.

### النتائج والمناقشة:

تم دراسة تأثير التشويب بالنحاس على الخصائص البصرية لأغشية فرايت الزنك الرقيقة، الشكل (1) يبين طيف حيود الأشعة السينية لغشاء  $(\text{ZnFe}_2\text{O}_4)$ .

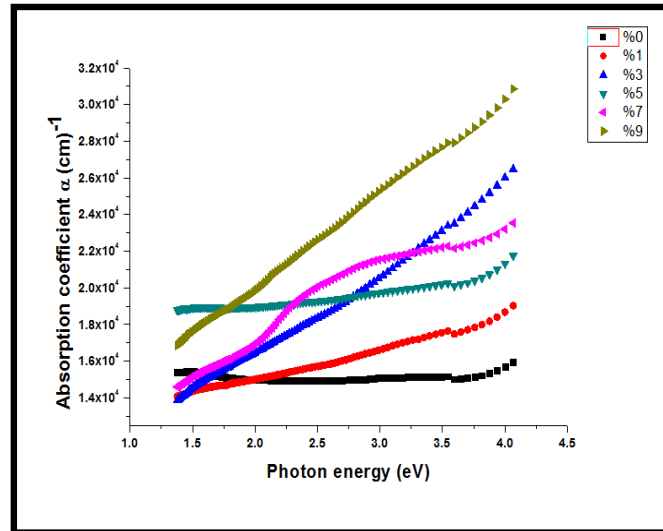


الشكل (1): يبين طيف حيود الأشعة السينية .

بعد قياس الامتصاصية والنفاذية للأغشية المحضرة تم حساب :

### 1- معامل الامتصاص البصري ( $\alpha$ ):

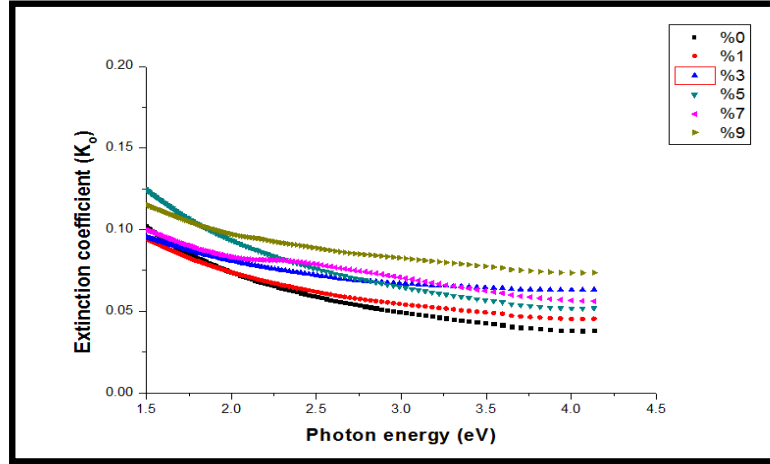
وجد ان معامل الامتصاص لجميع القيم الأغشية المحضرة هو ( $\alpha \geq 10^4$ ) مما يعني ان الانتقالات كانت مباشرة، رسمت العلاقة بين معامل الامتصاص وطاقة الفوتون لجميع الأغشية المحضرة كما في الشكل (2)، حيث نلاحظ من الرسم ان معامل الامتصاص يزداد بزيادة طاقة الفوتون وكذلك بزيادة نسبة التشويب، ويمكن ان نعزى هذه الزيادة الى وجود مستويات موضعية مانحة داخل فجوة الطاقة وبالقرب من حزمة التوصيل مما أدى الى تحرك حافة الامتصاص الى مستويات واطنة.



الشكل (2): يوضح تغير معامل الامتصاص كدالة لطاقة الفوتون.

## 2- معامل الخمود ( $K_0$ )

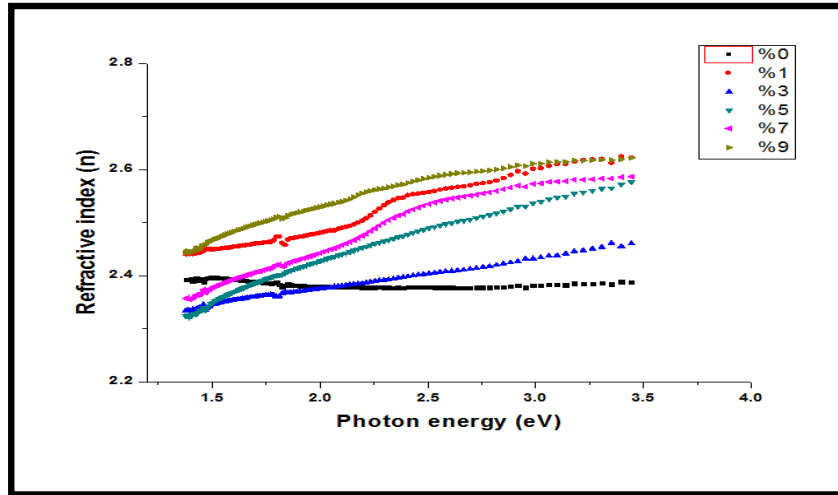
تم حساب معامل الخمود لأغشية فرايت الزنك والمشوبة باستخدام معادلة (6)، من الشكل (3) نلاحظ زيادة معامل الخمود بزيادة نسبة التشويب وأن سبب ذلك يعود الى زيادة الامتصاصية.



الشكل (3): معامل الخمود كدالة لطاقة الفوتون.

## 3-معامل الانكسار ( $n_0$ )

تم حساب معامل الأنكسار بالأعتماد على العلاقة (8) والشكل (4) يبين تغير معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون، حيث نلاحظ ان المنحني يبدأ بالتناقص عند الطاقات الواطنة بعدها يزداد عند الطاقات القريبة من الفجوة كذلك نلاحظ ان معامل الانكسار يزداد بزيادة التشويب وهذا ناتج من تأثير عملية التشويب على البناء البلوري .



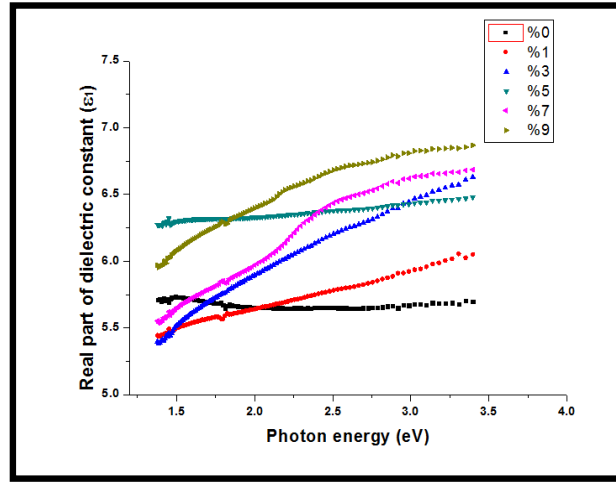
الشكل (4): معامل الانكسار كدالة لطاقة الفوتون.



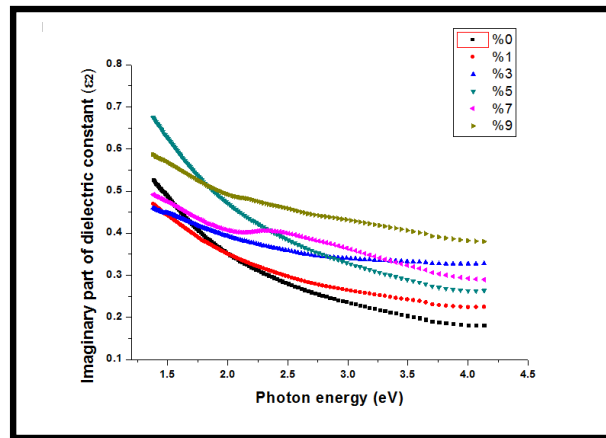
#### 4- ثابت العزل

تم حساب الجزء الحقيقي ( $\epsilon_1$ ) والجزء الخيالي لثابت العزل ( $\epsilon_2$ ) من العلاقاتين (11) و (12) على التوالي، ويبين الشكل (5) تغير الجزء الحقيقي لثابت العزل بوصفه دالة لطاقة الفوتون لأغشية فرايت الزنك الزنك النقية والمشوبة بالنحاس وبنسب مختلفة، حيث تبين ان منحنيات الجزء الحقيقي من ثابت العزل ذات طبيعة متشابهة تقريبا لمنحنيات معامل الانكسار بسبب طبيعة الارتباط بينهما وفق العلاقة (11) كذلك نلاحظ ان قيمة ثابت العزل الحقيقي تزداد بزيادة نسبة التشويب .

بالنسبة لثابت العزل الخيالي الذي يمثل مقدار الطاقة المفقودة نتيجة حركة ثنائيات القطب عند تسليط مجال خارجي، كما هو مبين في الشكل (6) تغير الجزء الخيالي لثابت العزل بوصفه دالة لطاقة الفوتون للأغشية ( $Zn_{1-x}Cu_xFe_2O_4$ ) كذلك نلاحظ ان قيمة ثابت العزل الخيالي تزداد بزيادة نسبة التشويب لكن قيمته تكون اقل من قيمة ثابت العزل الحقيقي بسبب اعتماد ثابت العزل الخيالي على معامل الخمود وفق العلاقة (12):



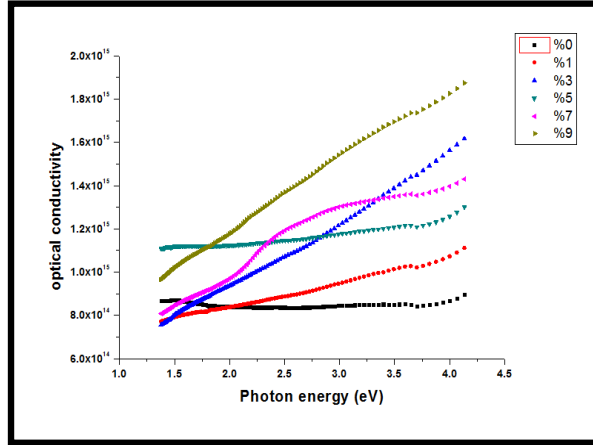
الشكل (5): ثابت العزل الحقيقي.



الشكل (6): ثابت العزل الخيالي.

5- التوصيلية البصرية:

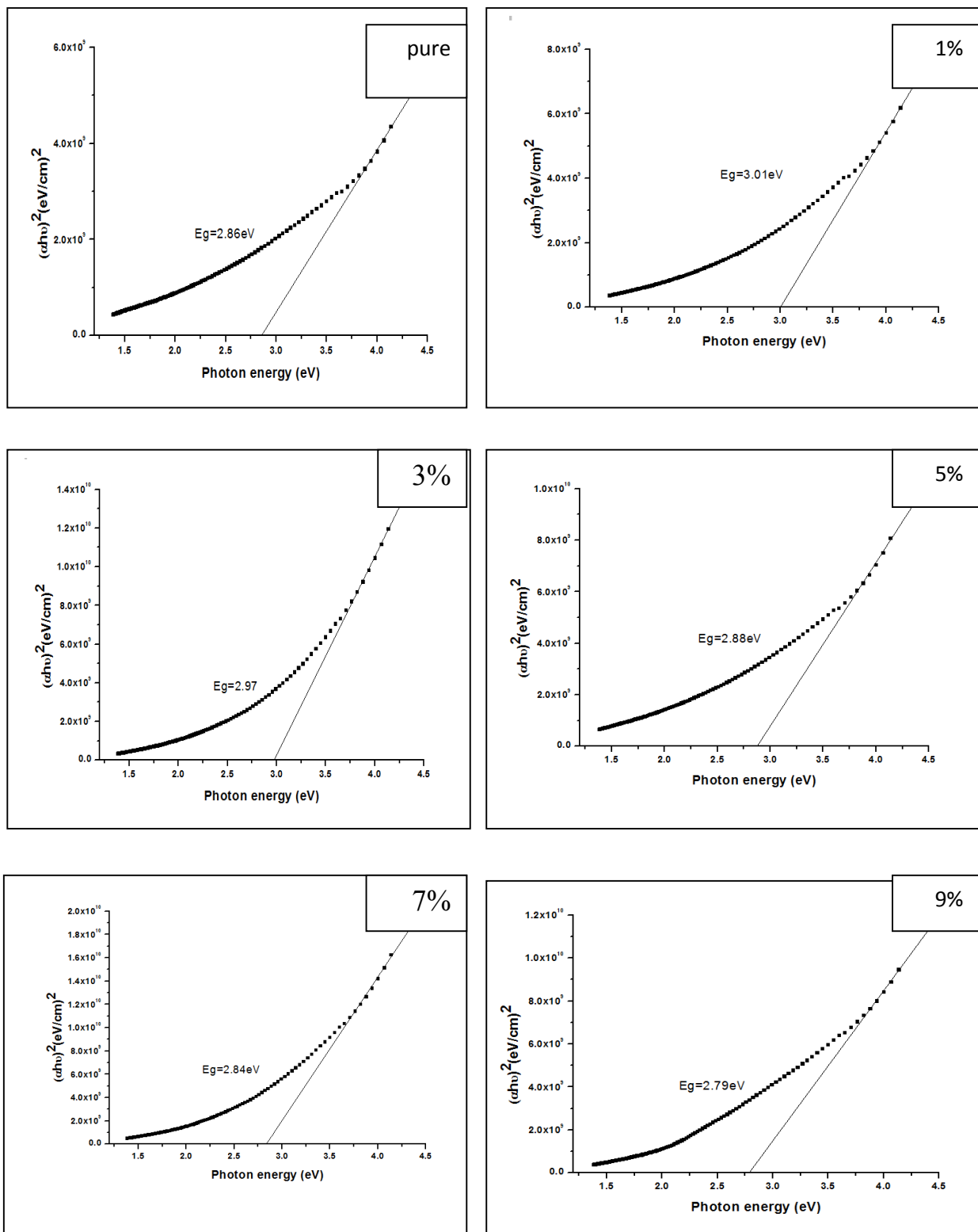
من خلال العلاقة (14) تم حساب التوصيلية البصرية لأغشية فرايت الزنك المشوب بالنحاس ومن الشكل (7) يبين تغير التوصيلية البصرية كدالة لطاقة الفوتون حيث نلاحظ ان التوصيلية تزداد بزيادة نسبة التشويب لارتباطها بمعامل الانكسار وفق المعادلة أعلاه.



الشكل (7) : التوصيلية البصرية .

6- فجوة الطاقة البصرية ( $E_g$ )

تم حساب فجوة الطاقة لأغشية فرايت الزنك النقية والمشوبة بالنحاس. الإشكال تبين العلاقة بين  $(\alpha\nu)^2$  و  $(h\nu)$ . يتم رسم مماس من أفضل خط مستقيم تمر به معظم النقاط بعد حافة الامتصاص ثم نمذ المستقيم ليقطع محور طاقة الفوتون عند  $(\alpha h\nu)^2=0$  فنحصل على قيمة فجوة الطاقة المسموحة للانتقال المباشر المسموح حيث نلاحظ ان فجوة الطاقة قبل التشويب تساوي (2.86 eV) وازدادت فجوة الطاقة عند النسب (1,3,and 5%) بسبب امتلاء المستويات الواطئة في حزمة التوصيل بالالكترونات فتحتاج الى طاقة عالية لتهييج الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل وهذا بدوره يؤدي الى توسع في فجوة الطاقة والذي يؤدي الى إزاحة حافة الامتصاص نحو الطاقات العالية .



الشكل (8): يوضح فجوة الطاقة للمركب  $(Zn_{1-x}Cu_xFe_2O_4)$  وبنسب مختلفة (0,1,3,5,7 and 9%).

## الاستنتاج

مما تقدم من نتائج نلاحظ انه يمكننا تحضير أغشية فرايت الزنك المشوبة بالنحاس باستعمال طريقة الرش الكيمياوي الحراري حيث نلاحظ ذلك عند حصولنا على طور سبيل فرايت الملاحظ من خلال تقنية حيود الأشعة السينية وكذلك نلاحظ تحسن الخواص البصرية للأغشية المحضرة والمشوبة بالنحاس .

## المصادر :

- Tahir, A. A., Wijayantha, K. G. U., Mazhar, M., Mckee, V., 2010, "ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> thin films from a single source precursor by aerosol assisted chemical vapour deposition", Thin Solid Films, Vol. 518, pp. 3664-3668.
- Joshi, B.D. and B.C Yadav PoonaTandon, 2014, "Synthesis, Characterization, magnetic properties and gas sensing applications of Zn<sub>x</sub>Cu<sub>1-x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (0.0 ≤ x ≤ 0.08) nanocomposites", Journal of Materials science in Semiconductor, Vol. 27, PP. 934-949.
- Manikandan, A., Judith Vijaya, J., John Kenned, L. and Bonoudina, M., 2013, "Structural, optical and magnetic properties of Zn<sub>1-x</sub> Cu<sub>x</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanoparticules prepared by Microwave combustion method" Journal of molecular structure, vol. 1035, pp. 338-340.
- Chatterjee, K., Abhishek Dey and Kalyan, Chattopadhyay, K. , 2014, "Interplay of bulk and synthesized nanocrystalline cubic Cu<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub> Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (x=0.00, 0.02, 0.04, and 0.08), Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 19-32, PP. 367.
- يحيى نوري الجمال ، 1990 ، "فيزياء الحالة الصلبة" ، مطبعة جامعة الموصل .
- Mwolfe, C., Holouyak, N., and Stillmau, G. B., 1989, "Physical Properties of Semiconductor", Printice Hall, New York.
- Clark, A. H., 2005, "Optical Properties of Polycrystalline and Amorphous Thin Films and Devices", edited by Lawrence L. Kazemerki, Academic Press, (1980).
- I. H. Khadyer, "Fabrication and studying the Photoconducting Characteristics of in sb junction with Silicon as A single Crystal Semiconductor", Ph.D. Thesis, Baghdad University.
- Pippek, J. C., 2006, "Semiconductor Optoelectronic Devices", University of California, .
- French, R. H., Mullejans, H. and Jones, D. J., 1998, "Optical Properties of Aluminum Oxide: Determined from Vacuum Ultraviolet and Electron Energy-Loss Spectroscopies", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 81, No. 10, pp. 2549-2557.
- Echertova, L., 2002, "Physics of Thin Films", Plenum Press, New York and London, (1977).
- Kasap, S. O., "Principles of Electronic Materials and Devices", 2nd, Graw- Hill, New York. Mc
- Chopra, K. L., and Kaur, I., 1983, "Thin Film Device Applications" Plenum Press, New York.
- Ndukwe, I. C., 1996, "Solution growth characterization and applications of zinc sulphide thin films", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 40, pp. 123-131.
- Johnson, R. L., 2005, "Characterization of piezoelectric (ZnO) thin films and the fabrication of piezoelectric micro-cantilevers", M. Sc. Thesis, Iowa state university, Ames, Iowa.