

## دراسة بعض خصائص طيف الأشعة تحت الحمراء لمركب أكسيد الزنك

د. فريد نصور \*

(تاريخ الإيداع 13 / 11 / 2018. قُبِلَ للنشر في 20 / 1 / 2019)

### □ ملخص □

تعتبر دراسة الأكاسيد الشفافة (TCO) ذات أهمية علمية بالغة نظراً لتطبيقاتها العلمية الواسعة لذلك جاءت دراستنا لبعض الخصائص الفيزيائية لمركب أكسيد الزنك ، فمن خلال قياس طيف الأشعة تحت الحمراء تبين سبع ترددات اهتزازية أبرزها  $(1190- 2400- 2500- 3420- 3725)\text{cm}^{-1}$  ، وأظهرت الدراسة بأن أصغر قيمة لقرينة الانكسار الامتصاصية هي  $n=1.277$  الموافقة لتردد العتبة الاهتزازية  $\nu=1190\text{cm}^{-1}$  وأصغر طول ضوئي  $L=0.027\text{cm}$  الموافق لتردد العتبة الاهتزازية  $3420\text{cm}^{-1}$  وأكبر طول ضوئي  $L=0.104\text{cm}$  الموافق لتردد العتبة الاهتزازية  $\nu=1190\text{cm}^{-1}$  ، وتبين لدينا أكبر قيم لقرينة الانكسار ومعامل التوهين والناقلية الضوئية على الترتيب هي  $n=6.244$  ،  $\alpha=36.846\text{cm}^{-1}$  ،  $\sigma_{\text{opt}}=0.627(\Omega\text{cm})^{-1}$  موافقاً لتردد العتبة الاهتزازية عند  $\nu=3420\text{cm}^{-1}$  .

الكلمات المفتاحية: أكسيد الزنك - طيف الأشعة تحت الحمراء - تردد العتبة الاهتزازية - قرينة الانكسار الامتصاصية - الناقلية الضوئية .

\*مدرس - قسم الفيزياء - قسم العلوم الأساسية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - سورية.

## Study of Some Infrared Spectrum Properties of Zinc Oxide Compound

Dr. Farid Nassour\*

(Received 13 / 11 / 2018. Accepted 20 / 1 / 2019)

### □ ABSTRACT □

The study of transparent oxides (TCO) is of great scientific importance due to its wide scientific applications is done . Therefore, our study of some of the physical properties of zinc oxide compound . The measurement of the infrared spectrum shows seven vibrational frequencies . The most prominent of which are (1190, 2400, 2500, 3420, 3725 ) $\text{cm}^{-1}$  , The study showed the smallest value of the absorption refractive index which is  $n=1.277$  corresponding to the vibrational threshold frequency  $\nu=1190\text{cm}^{-1}$ , and the smallest optical length  $L=0.027\text{cm}$  corresponding to the vibrational threshold frequency  $3420\text{cm}^{-1}$ , and the largest optical length  $L=0.104$  corresponding to the vibrational threshold frequency  $\nu=1190\text{cm}^{-1}$  . It also shows that the largest values for refractive index, attenuation coefficient and optical conductivity respectively are  $n=6.244$ ,  $\alpha=36.846\text{cm}^{-1}$  ,  $\sigma_{\text{opt}}=0.627(\Omega\text{cm})^{-1}$  corresponding to the vibrational threshold frequency at  $\nu=3420\text{cm}^{-1}$  .

**Keywords:** Zinc Oxide, Infrared spectrum, Vibrational threshold frequency, Absorption refractive index, Optical conductivity .

---

\* Assistant Professor, Physics Department of Basic Sciences, Faculty of Mechanics and Electricity Engineering, Tishreen University, Syria.

**مقدمة:**

الأكاسيد الشفافة الناقلة (TCO) هي مجموعة فريدة من المواد التي توفر مقاومة منخفضة وشفافية عالية في المجال المرئي ومن هذه الأكاسيد  $ZnO$  ,  $In_2O_3$  ,  $SnO_2$  . يعد أكسيد الزنك  $ZnO$  أحد أهم الأكاسيد الشفافة بسبب امتلاكه فجوة طاقة واسعة (3.3ev) ، وناقلية من النوع n وشفافية عالية في المجال المرئي ، وطاقة ربط كبيرة عند درجة حرارة الغرفة ، و تأتي أهميته من كثرة تطبيقاته فهو يستخدم في الأجهزة الالكترونية مثل باعث الضوء الأزرق ، وثنائيات الليزر ذات الأطوال الموجية القصيرة .

يتبلور في بنية بلورية سداسية (hexagonal wurtzite) بثوابت شبكة ( $a=3.249^{\circ}A$  ,  $c=5.205^{\circ}A$ ) حيث يحتل مواقع رباعي الأسطح بين ذرات الاكسجين والمراكز المشغولة لشوارد  $Zn^{2+}$  . كما هو موضح في الشكل (1) .

يرجع سلوك نصف الناقل من النوع n إلى تأين ذرات الزنك الفائضة في المواقع البينية وفراغات الأوكسجين. تلعب العيوب السطحية دوراً مهماً في تنشيط التحفيز الضوئي للأكاسيد المعدنية حيث تزيد عدد المواقع النشطة .

الخصائص الضوئية (البصرية) لأوكسيد الزنك : أكسيد الزنك  $ZnO$  هو مادة شفافة ، قرائن انكساره محصورة بين ( 2.2 - 1.9) ، تمتص الطول الموجي 360nm الواقع في مجال الأشعة فوق البنفسجية ، هذا ما يفسر كبر فجوة الطاقة للأفلام الرقيقة المصنوعة من هذه المادة ، في المقابل هو شفاف في الطيف المرئي وتحت الحمراء القريبة [2,1] . بالإضافة إلى الخصائص الشفافة لأوكسيد الزنك ، فإنه يبدي أيضاً خاصية الانبعاث الضوئي ، تحت تأثير الشعاع الضوئي للطاقة الأعلى من الفاصل الطاقوي لأوكسيد الزنك ، حيث يصدر أكسيد الزنك فوتونات وهذه الفوتونات عموماً تكون في الطول الموجي 550nm تقريباً الموافق للضوء الأخضر [4,3] .

تم تطبيق تقنيات مختلفة على المركبات النانوية  $ZnO$  بطريقة Sol-Gel ، وطريقة الترسيب ، وطرق أخرى..

و من بين الطرق المختلفة يبدو أن تقنية Sol-Gel هو واحد من أكثر الطرق الناجحة لتحضير الجسيمات النانوية  $ZnO$  .

من أهم ميزات طريقة Sol-Gel هي سهولة التصنيع ، درجة الحرارة المنخفضة للتحلل و التحكم في التركيب الكيميائي ، هذه المزايا تجعل تقنية Sol-Gel طريقة تحضير جذابة للغاية ، خاصة في حالة مساحيق  $ZnO$  النشطة ضوئياً. [5]

حيث تم تحضير مساحيق نانوية من أكسيد الزنك باستخدام طريقة Sol-Gel ، وأجريت دراسات بنيوية ومجهرية حيث أظهرت نتائج دراسة XRD أن الجسيمات النانوية لأوكسيد الزنك ذات بنية سداسية (hexagonal wurtzite)، كما تبين أن حجم الجسيمات حوالي 28nm ،وأكدت الدراسات ،نقاء الجسيمات النانوية  $ZnO$  وأظهرت قمة الامتصاص من طيف UV-Vis فجوة طاقة واسعة (3.49ev) . [5]

تم تحضير مساحيق نانوية من أكسيد الزنك باستخدام طريقة Sol-Gel عند درجات حرارة تكلس  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $600^{\circ}\text{C}$ ,  $550^{\circ}\text{C}$ . بالنسبة لجميع العينات التي تم دراستها أظهر التحليل الطيفي لأشعة IR وجود عصابات (قمم) مرتبطة بجزيئات الماء الموجودة في ZnO و وجود  $\text{CO}_2$  الممتص على سطحه.

تم تأكيد تشكل طور أكسيد الزنك باستخدام XRD والتي أظهرت أنه من أجل درجة حرارة  $500^{\circ}\text{C}$  كان لديها نوع بنية wurtzite. ومع ذلك فإن العينات المحسوبة عند الدرجة  $600^{\circ}\text{C}$  لها درجة تبلور أعلى. كما تم حساب حجم التبلور باستخدام علاقة شيرر [6].

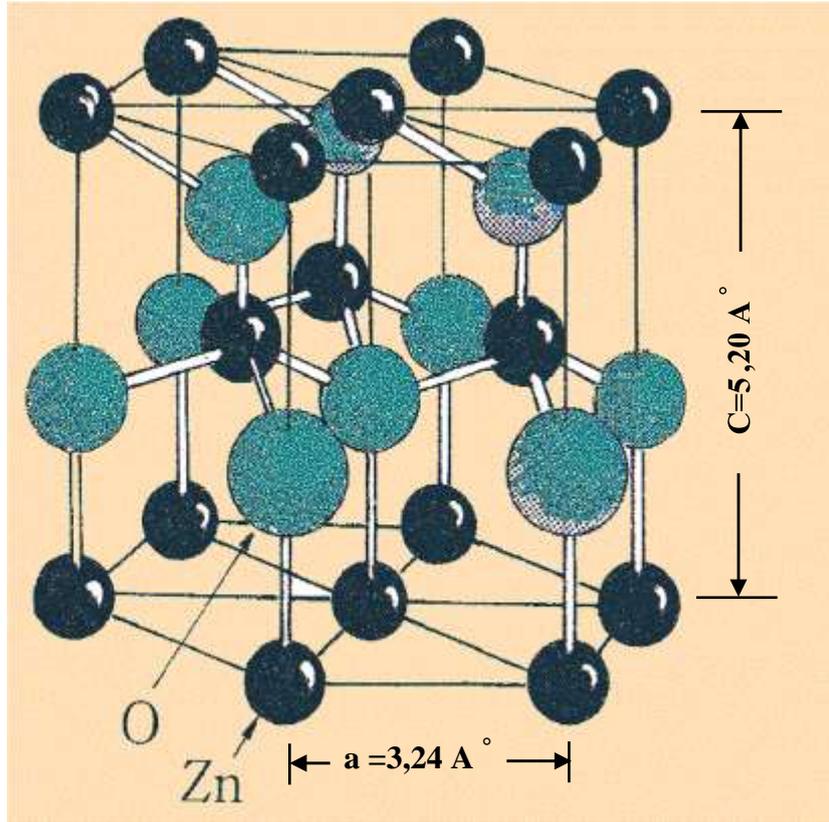
تم تحضير مساحيق نانوية من أكسيد الزنك المشاب بالحديد (Fe)  $(\text{Zn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}; x=0, 0.03, 0.06, 0.09\text{mM})$  باستخدام طريقة الترسيب عند درجة حرارة  $550^{\circ}\text{C}$ ، أظهر طيف XRD البنية لجميع العينات تكون سداسية (hexagonal wurtzite). تم تأكيد وجود مجموعات وظيفية وروابط كيميائية باستخدام FTIR. كما تظهر قياسات UV-Vis انخفاض في فجوة الطاقة مع زيادة Fe، وربما يسبب ذلك زيادة في ثوابت الشبكة [7].

حضرت جسيمات نانوية من أكسيد الزنك المشاب بالرصااص باستخدام طريقة الترسيب. أظهرت دراسة XRD ازدياد متوسط حجم البلورات وثوابت الشبكة وحجم خلية الوحدة حتى تصل الإشابة إلى 10% من الرصااص، تم تحديد فجوة الطاقة الضوئية للعينات من طيف امتصاص UV-Vis، وقد أكد طيف FTIR بأن الشائبة تؤدي إلى انزياح القمة من  $473\text{cm}^{-1}$  إلى  $549\text{cm}^{-1}$ ، كما أكدت دراسة SEM وجود جسيمات في حجم النانومتر [8].

تم تحضير أكسيد الزنك باستخدام نترات الزنك والايثانول، وتم تكلس العينة عند درجات حرارة  $300^{\circ}\text{C}, 400^{\circ}\text{C}, 500^{\circ}\text{C}$ ، وأكدت صور المسح المجهرية للانبعاثات الالكترونية (FE-SEM) أن حجم الجسيمات يتوقف على ظروف التسخين، وأظهرت دراسة IR قمة امتصاص للاهتزاز الممتد Zn-O عند  $457\text{cm}^{-1}$  وقسمت هذه القمة في قمتين متمركزتين عند  $518\text{cm}^{-1}$  و  $682\text{cm}^{-1}$  مع تغير الشكل، وأكدت هذه النتائج أن طيف IR (FTIR) كان حساساً للتغيرات في حجم الجسيمات وشكلها [9].

تم تحضير جسيمات نانوية من أكسيد الزنك النقي والمشاب بالكوبالت ودراسة تأثير هذه الإشابة على الخصائص الضوئية لأوكسيد الزنك، حيث أظهر طيف FTIR قمة مميزة لأوكسيد الزنك عند  $490\text{cm}^{-1}$ ، وأظهرت قياسات طيف الامتصاص لأوكسيد الزنك المشاب بالكوبالت انزياح قمم الامتصاص لطول موجي أكبر من  $358\text{nm}$  إلى  $372\text{nm}$ ، ووجدت فجوة الطاقة للجسيمات النانوية لأوكسيد الزنك المشاب بالكوبالت لتكون تتراوح (3.05-3.28eV) [10].

و بهذا جاء عملنا لدراسة بعض خصائص طيف الأشعة تحت الحمراء لمركب أكسيد الزنك ليكون رافداً للأعمال العلمية الكثيرة في هذا المجال.



الشكل(1): التركيب البلوري السداسي لأكسيد الزنك. [11]

جدول (1) :جدول يبين بعض القيم الخاصة بأكسيد الزنك [12]

نقطة الانصهار (°C)	الكثافة g/cm <sup>3</sup>	الكتلة المولية g/mol	البنية البلورية
1970	5.67	81.37	سداسية

### 1- مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

الأشعة تحت الحمراء هي أشعة كهرومغناطيسية لها كل خواص [الضوء] الأساسية التي تتمثل بظواهر الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والانعراج والاستقطاب. والأشعة تحت الحمراء أشعة غير مرئية حرارية وتتبعث من الشمس أو من منابع اصطناعية لها قدرة عالية على الاختراق و النفوذ وتتبعث كذلك من أجسامنا وهي الأشعة التي تصلنا من الشمس و ترددها أقل من تردد الأشعة الحمراء في الطيف الكهرومغناطيسي المرئي. يقع طيف الأشعة تحت الحمراء بين الطيف المرئي وطيف أشعة المايكروويف. تغطي الأشعة تحت الحمراء منطقة واسعة من الطيف الكهرومغناطيسي ككل وتقسم إلى ثلاثة مناطق وهي

على النحو التالي:

الأشعة تحت الحمراء القريبة: وهي الأقرب إلى الأشعة المرئية وبالتحديد اللون الأحمر.

الأشعة تحت الحمراء البعيدة : وهي التي تكون الأقرب إلى أشعة المايكروويف .

الأشعة تحت الحمراء الوسطى : و هي التي تقع بين المنطقتين السابقتين .

إن مطيافية الأشعة تحت الحمراء هو أحد فروع علم الأطياف الذي يتعامل مع المنطقة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي ويشمل مجموعة من التنفيذات وأشهرها مطيافية الامتصاص وتستخدم هذه المطيافية في تحديد المجاميع الفعالة في المركبات قيد الدراسة وتعتبر مطيافية الأشعة تحت الحمراء من الطرق الأساسية في دراسة المواد فهي تمكننا من التعرف على بنية المادة من دون التأثير على خصائصها وتعتمد على دراسة الأطياف الممتصة من قبل العينة ويحصر مجالها ما بين  $(1400-20\text{cm}^{-1})$  .  
لاكتفي طاقة الإشعاع الأحمر لإحداث إثارة الكترونية في معظم المواد إلا أنها كافية لإحداث اهتزازات امتطاط وانثناء في الروابط .

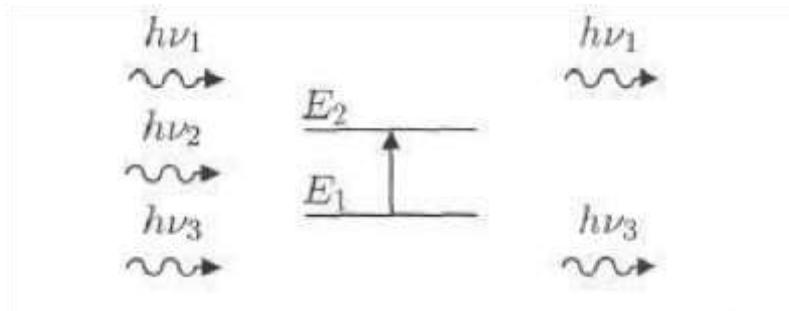
وجميع أنواع الروابط تستجيب لهذا المقدار من الطاقة لتحث فيها اهتزازات من هذا النوع لذا تمتص في منطقة تحت الأحمر بشرط أن يؤدي الامتصاص تغير في العزم القطبي ، وهذه الاهتزازات مكماة ، وحدثها يعني أن المركب يمتص طاقة تحت الحمراء في جزء معين من الطيف، حيث ينقسم مجال الأشعة تحت الحمراء إلى ثلاثة مناطق :

- |                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1- الأشعة تحت الحمراء القريبة  | $4000-12000\text{cm}^{-1}$ |
| 2- الأشعة تحت الحمراء المتوسطة | $200-4000\text{cm}^{-1}$   |
| 3- الأشعة تحت الحمراء البعيدة  | $10-200\text{cm}^{-1}$     |

إن أغلب التحليلات الطيفية تجري في المنطقة تحت الحمراء الوسطى  $(200-4000\text{cm}^{-1})$  حيث أن هذه المنطقة تحدث فيها أغلب الإهتزازات الجزيئية، والباحث يجد فيها كفايته من المعلومات لتحديد البنية الجزيئية للمركبات المدروسة.

### 3- مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

تتهتز الجزيئات الطبيعية تبعاً لجميع أنماط اهتزازها، ولكن بسعات ضعيفة جداً ، كما يملك الفوتون حقلاً كهربائياً جيبياً ، إذا كان تواتر الفوتون يوافق تواتر اهتزاز أحد الأنماط العادية للجزيء، فإن الجزيء سوف يدخل في الرنين ويتهتز بسعات كبيرة جداً ، أو بعبارة أخرى الفوتون الذي طاقته تكون مساوية للطاقة الضرورية للجزيء حتى يمر من حالة طاقة منخفضة إلى حالة مثارة يمتص وتحول طاقته الي طاقة إهتزاز .  
كما في الشكل



الشكل(2)امتصاص الأشعة تحت الحمراء

فقط الفوتون الذي طاقته  $h\nu$  مساوية لطاقة الانتقال ( $E_2-E_1$ ) هو الذي يمتص وبالتالي يحدث خللاً في الإشعاع المنبعث.

يؤدي إمتصاص بعض الفوتونات الواردة إلى ظهور خطوط سوداء توافق الفوتونات التي لم يتم إنبعاثها في منحنى طيف ماتحت الحمراء للجزيء، يميز هذا الامتصاص الروابط بين الذرات واهتزازاتها . بما أن كل نمط اهتزاز يوافق حركة وحيدة للجزيء فيوجد إذاً توافق مباشر بين تواتر الإشعاع الممتص وبنية الجزيء.

### أهمية البحث وأهدافه :

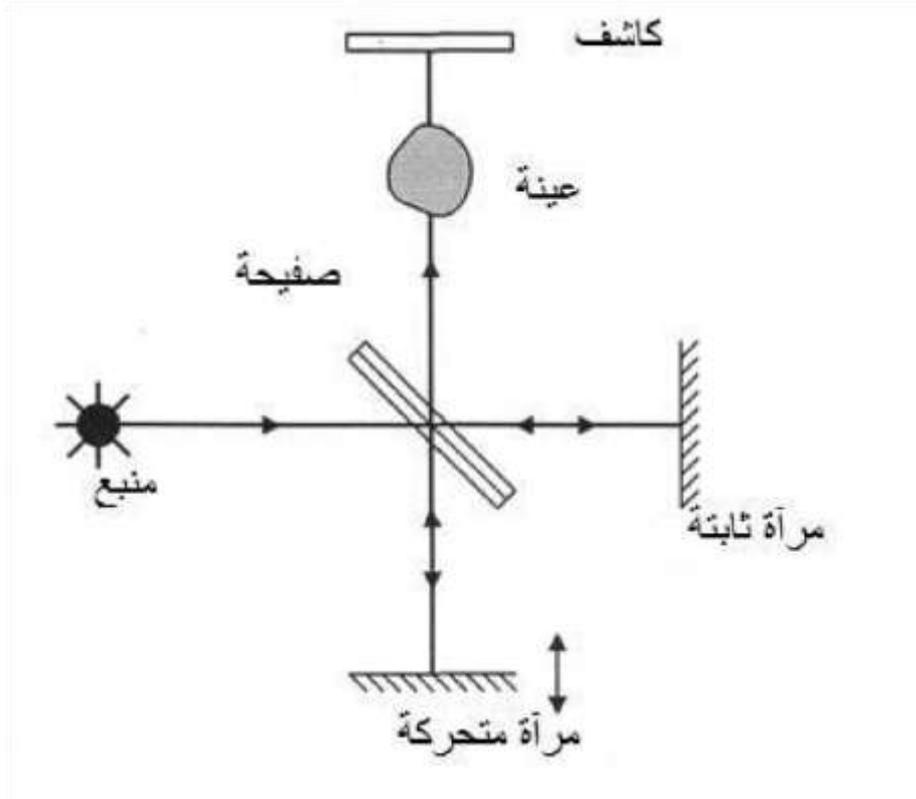
تكمن أهمية هذا العمل في تحديد مجال ترددات الامتصاص لأوكسيد الزنك باستخدام أطياف الأشعة تحت الحمراء IR ومن ثم إيجاد قرينة الانكسار ، الامتصاصية ، معامل الامتصاص ، قرينة الامتصاص ، الطول الضوئي والناقلية الضوئية .

### طرائق البحث ومواده :

تم استخدام مساحيق عالية النقاوة لأوكسيد الزنك تصل إلى %99.99 من مصدر هندي ولدراسة أطياف الأشعة تحت الحمراء استخدم جهاز مطيافية الأشعة تحت الحمراء وهو جهاز بسيط مكوناته الأساسية هي مصدر للأشعة تحت الحمراء حامل للعينة وكاشف ويعتبر هذا الجهاز من أفضل الأجهزة الطيفية المستخدمة في التعرف على التركيب الكيميائي للمركبات ، والموجود في كلية العلوم - جامعة تشرين وهو يستخدم العدد الموجي ( $400-4000\text{cm}^{-1}$ ) حيث تمتص كل مادة عضوية عدداً مميزاً من الموجات يميزها عن غيرها وبالتالي فإن طيفها يعتبر البصمة التي تميزها.

ويتميز جهاز المطياف بذاكرة حاسب آلي تقوم بتحليل الموجات المتجمعة على الكاشف وتحويلها حاسوبياً ورسم الطيف الناتج عن الامتصاص ، أو بعبارة أخرى عندما يمتص الجزيء الأشعة تحت الحمراء يحدث اهتزاز لذرات هذا الجزيء أو يحدث إنتقال اهتزازي للذرات بالنسبة لبعضها البعض في الجزيء مما يؤدي إلى تغير دوري في طول الروابط الكيميائية أو تغير في الزوايا بين الروابط الكيميائية في الجزيء.

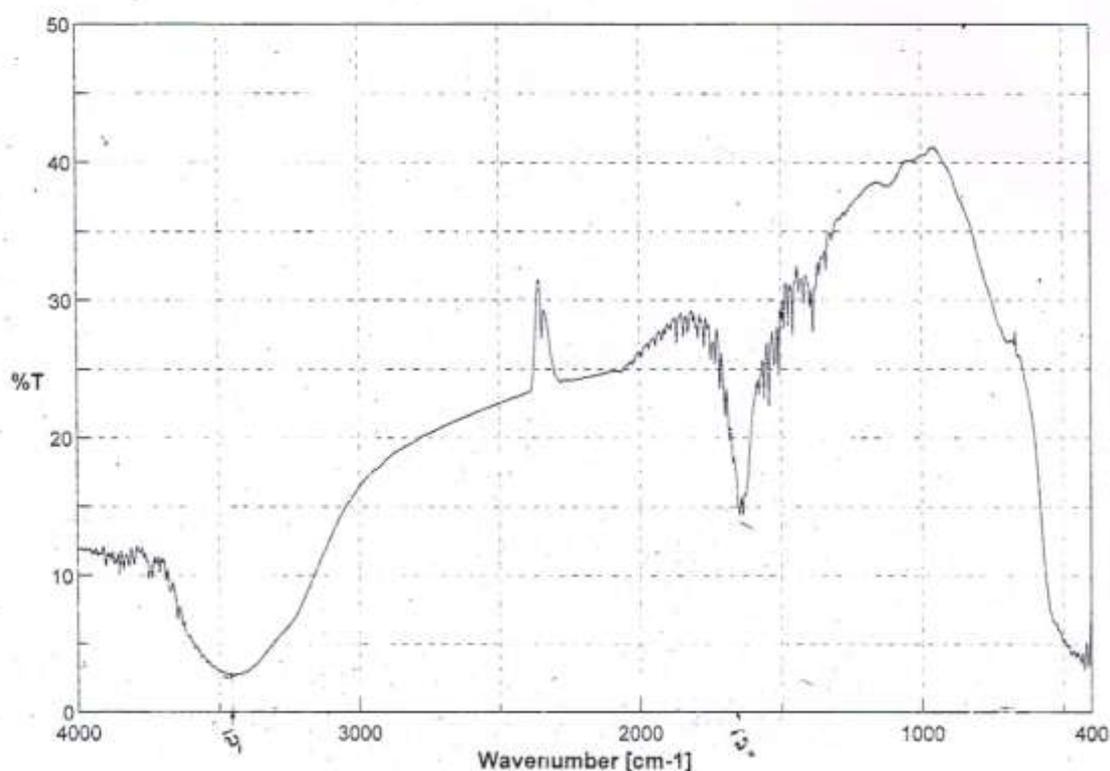
وقد تنتج كل حركة اهتزازية من حركة ذرتين أو قد تشمل مجموعة من الذرات ويتوقف عدد الإنتقالات الاهتزازية في الجزيء على عدد الذرات المكونة له يتوقف طول الموجة أو التردد الذي يحدث عنده هذا الإمتصاص على عوامل عديدة من ها كتلة الذرة ، قوة الروابط المكونة للجزيء والشكل الهندسي للذرات في الجزيء. يوضح الشكل مبدأ عمل الجهاز وهو مشابه لمقياس مايكلسون التداخلي .



الشكل (3): مخطط مطيافية الأشعة تحت الحمراء

### النتائج والمناقشة :

تم قياس طيف IR لأوكسيد الزنك باستخدام مقياس الطيف نوع Jasco FT/IR-460 plus الموجود في المختبر المركزي لكلية العلوم - جامعة تشرين الذي يعمل ضمن المجال  $(400-4000)\text{cm}^{-1}$  ويبين الشكل (4) طيف IR لتلك العينة .



الشكل (4): يبين الشكل النفاذية المنوية بدلالة العدد الموجي لمركب أكسيد الزنك .

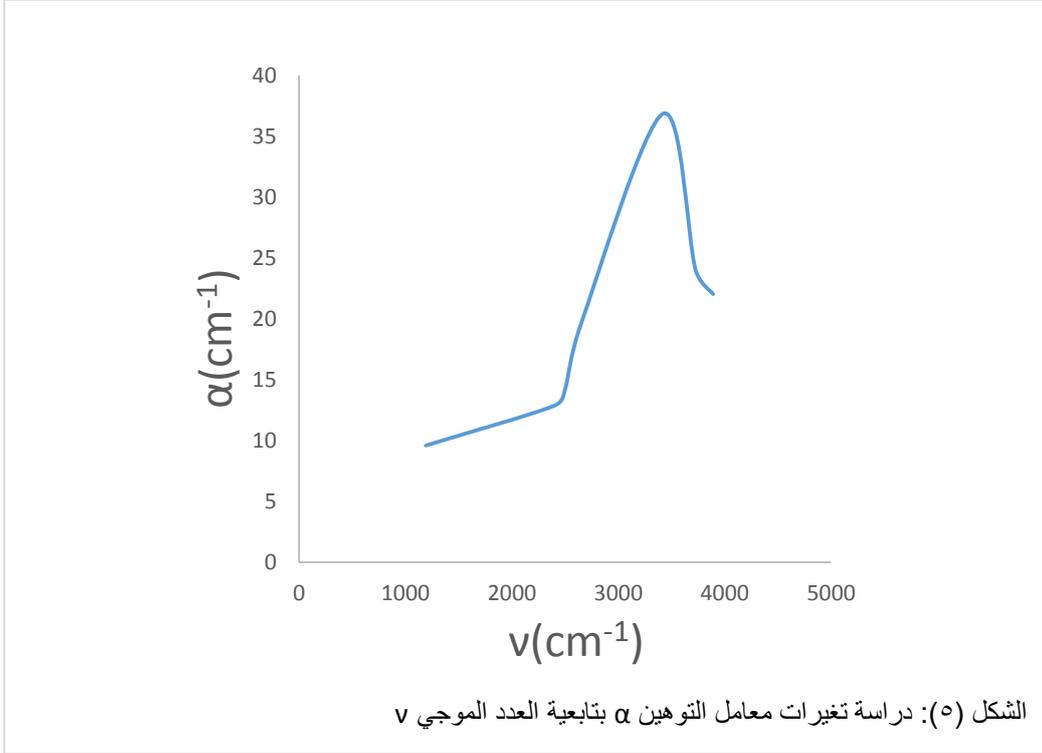
يتميز أكسيد الزنك بسبع ترددات اهتزازية تقع ضمن المجال  $(400-4000)\text{cm}^{-1}$  أبرزها وضوحاً عند الترددات  $(1190, 2400, 2500, 3420, 3725)\text{cm}^{-1}$  ، ويحتوي الجدول (2) على قيم ترددات الاهتزازية المميزة للمواقع الاهتزازية المستخلصة من طيف IR و قرينة الانكسار  $n = \left(\frac{100-T\%}{T\%}\right)^{1/2}$  ، والامتصاصية  $A = \log\left(\frac{100}{T\%}\right)$  ، وقرينة الامتصاص  $k = \frac{\alpha}{4\pi\nu}$  ، حيث  $\alpha = 2.3 \frac{A}{d}$  (معامل التوهين) و d سماكة العينة وتساوي 1mm ، والطول الضوئي  $L = \frac{1}{\alpha}$  ، والناقلية الضوئية  $\sigma_{opt} = \frac{1}{30} nk\nu$  .

الجدول (2): يبين تردد الاهتزازات لأوكسيد الزنك مع قيم النفوذية الموافقة لكل تردد ،

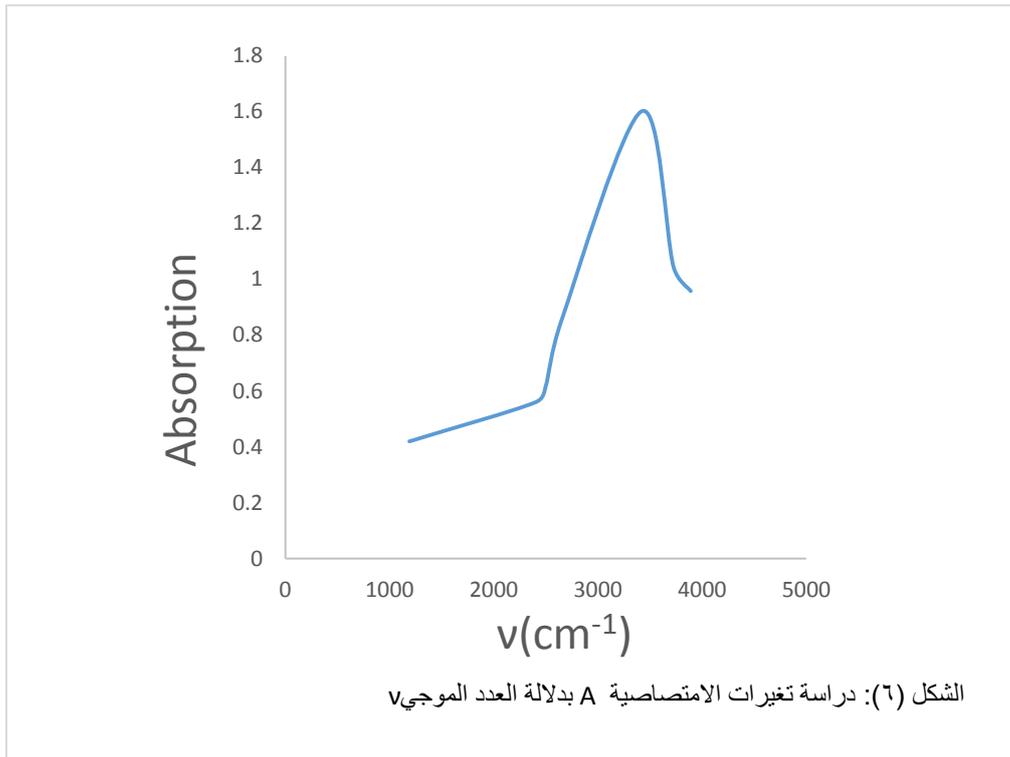
قرينة الانكسار ، معامل الامتصاص ، قرينة الامتصاص ، الطول الضوئي و الناقلية الضوئية .

$\nu(\text{cm}^{-1})$	T%	$n^2$	A	n	$\alpha(\text{cm}^{-1})$	$k \times 10^{-4}$	L(cm)	nk $\nu$	$\sigma_{opt} (\Omega\text{cm})^{-1}$
1190	38	1.631	0.42	1.277	9.6	19.4	0.104	2.948	0.0982
2400	27.5	9.666	0.56	3.1	12.88	42.7	0.077	3.1768	0.105
2500	24	3.166	0.619	1.779	14.237	45.3	0.702	2.014	0.0671
2650	14	6.142	0.853	2.478	19.619	5.89	0.509	3.867	0.1289
3420	2.5	39	1.602	6.244	36.846	8.57	0.027	18.3007	0.61
3725	9	10	1.045	3.162	24.035	5.13	0.041	6.002	0.201
3890	11	8.09	0.958	2.844	22.034	4.5	0.045	5.222	0.1741

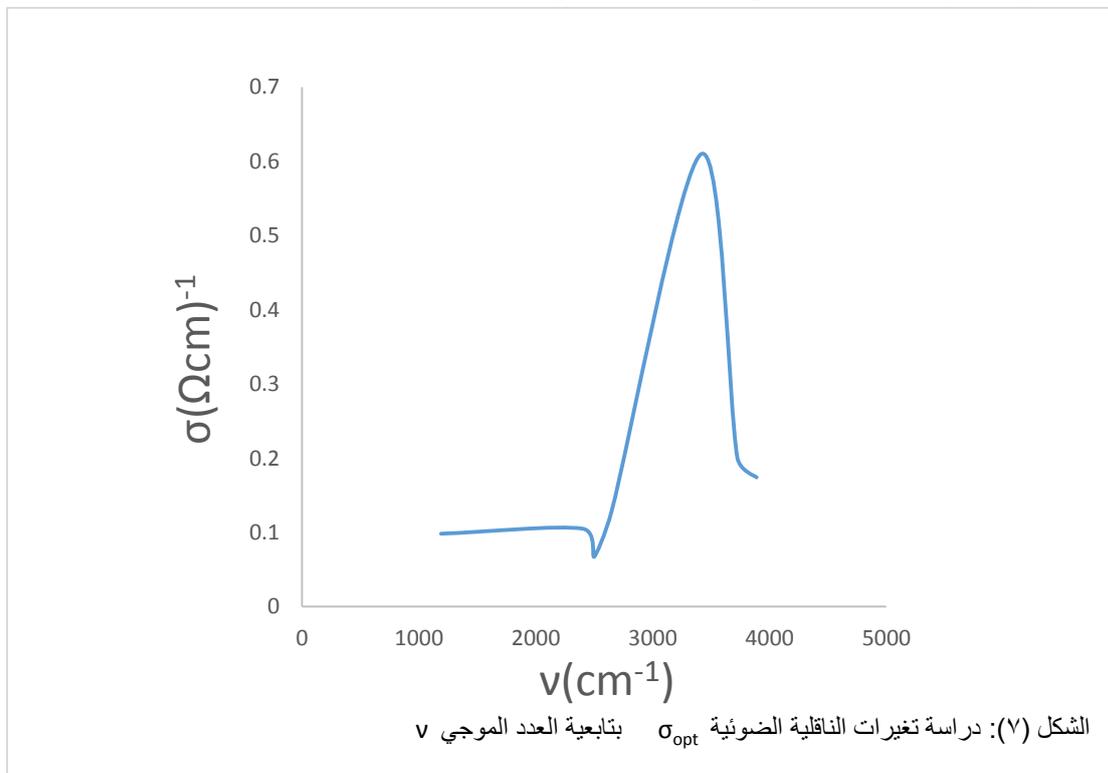
يبين الشكل (5) تغيرات معامل التوهين بدلالة العدد الموجي حيث يزداد معامل التوهين مع زيادة تردد المواقع الاهتزازية حتى تصل لقيمة عظمى  $\alpha=36.846\text{cm}^{-1}$  لمعامل التوهين عند تردد اهتزازي  $\nu=3420\text{cm}^{-1}$  ، ويبدأ بالتناقص حتى يصل لقيمة لمعامل التوهين  $\alpha=22.034\text{cm}^{-1}$  عند تردد اهتزازي  $\nu=3890\text{cm}^{-1}$  ، ونلاحظ أن أدنى قيمة لمعامل التوهين  $\alpha=9.6\text{cm}^{-1}$  المقابل لتردد اهتزازي مقداره  $\nu=1190\text{cm}^{-1}$  .



و يبين الشكل (6) تغيرات الامتصاصية بدلالة العدد الموجي حيث تزداد الامتصاصية مع تزايد تردد المواقع الاهتزازية حتى تصل الامتصاصية لأعلى قيمة  $A=1.602$  عند تردد اهتزازي  $\nu=3420\text{cm}^{-1}$  ، وتبدأ بعدها الامتصاصية بالإنخفاض حتى  $A=0.958$  الموافقة لتردد اهتزازي  $\nu=3890\text{cm}^{-1}$  ، و نلاحظ أن أدنى قيمة للامتصاصية هي  $A=0.42$  الموافقة لتردد اهتزازي  $\nu=1190\text{cm}^{-1}$  .



و يبين الشكل (7) تغيرات الناقلية الضوئية بدلالة العدد الموجي حيث أن أعظم قيمة لناقلية الضوئية  $\sigma_{opt}=0.61(\Omega\text{cm})^{-1}$  هي من أجل تردد اهتزازي  $\nu=3420\text{cm}^{-1}$  ، بينما نلاحظ أن أصغر قيمة لناقلية الضوئية  $\sigma_{opt}=0.067(\Omega\text{cm})^{-1}$  هي عند تردد اهتزازي قدره  $\nu=2500\text{cm}^{-1}$  .



وفقاً للمنحنيات السابقة الموافقة للأشكال (5, 6, 7) تبين أن القيم العظمى لكل من معامل التوهين ، الامتصاصية ، والناقلية الضوئية توافق التردد الاهتزازي  $3420\text{cm}^{-1}$  .

### الاستنتاجات و التوصيات :

- 1- أظهر طيف IR لأكسيد الزنك سبع ترددات اهتزازية تقع ضمن المجال  $400-4000\text{cm}^{-1}$  أبرزها  $(1190, 2400, 2500, 3420, 3725)\text{cm}^{-1}$  .
- 2- قيمة الامتصاصية A تتراوح ضمن المجال  $[0.420 - 1.602]$  .
- 3- قيمة قرينة الانكسار تتراوح ضمن المجال  $[1.277 - 6.244]$  .
- 4- قيمة معامل التوهين (الامتصاص)  $\alpha$  تتراوح ضمن المجال  $[9.60 - 36.846]\text{cm}^{-1}$  .
- 5- قيمة الطول الضوئي L تتراوح ضمن المجال  $[0.027 - 0.702]\text{cm}$  .
- 6- قيمة الناقلية الضوئية  $\sigma_{\text{opt}}$  تتراوح ضمن المجال  $[\text{0.0671} - \text{0.6278}](\Omega\text{cm})^{-1}$  .
- 7- أكبر قيم لقرينة الانكسار ومعامل التوهين والناقلية الضوئية هي على الترتيب  $\sigma_{\text{opt}}=0.627(\Omega\text{cm})^{-1}$  ,  $\alpha=36.846\text{cm}^{-1}$  ,  $n= 6.244$  عند تردد العينة الاهتزازية  $\nu=3420\text{cm}^{-1}$  .
- 8- أكبر طول ضوئي  $L=0.702\text{cm}$  كان موافقاً للتردد  $\nu=2500\text{cm}^{-1}$  .
- 9- يتمتع المركب بأصغر ناقلية ضوئية عند  $\sigma_{\text{opt}}=0.0671(\Omega\text{cm})^{-1}$  الموافقة لتردد العينة الاهتزازية  $\nu=2500\text{cm}^{-1}$  .
- 10- نوصي بدراسة بعض الخصائص الفيزيائية لطبوف IR لأكاسيد أخرى مثل أكسيد النحاس و بدراسة تأثير الشائبة Sb (الأنتموان) على الخصائص الفيزيائية لطيف IR لأكسيد الزنك النقي وتحليل النتائج ومقارنتها.

### المراجع:

- [1] W.J. Shen ; Wang, J.; Wang, Q. Y.; Duan, Y.; Zeng, Y. P/ Journal of Physics.D : Applied Physics, 39, 2006, 269-273.
- [2] S.A. Studenikin, N. Golego, and M. Cocivera/ Journal of Applied Physics, 83 4 ,1998, 2104-2109.
- [3] A. Moustaghfir/ Thèse , Université Blaise Pascal/ 2004.
- [4] S. Larcheri , C. Armellini, F. Rocca, A. Kuzmin, R. Kalendarev, G. Dalba/ Superlattices and Microstructures, 39,2006, 267-274.
- [5] S.Jurablu , M.Farahmandjou et al . “ Sol-Gel Synthesis of Zinc Oxide (ZnO) Nanoparticles: Study of Structural and Optical Properties ” Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran , V.26(3), 2015, pp.281-285.

- [6] Manuel Acosta – Huma'nez , Luis Montes- Vides et al . ‘‘ Sol-gel Synthesis of Zinc Oxide nanoparticle at three different temperatures and its characterization via XRD,IR , and EPR’’ DYNA , v.83(195) , 2015, pp.224-228.
- [7] K. Raja, P.S. Ramesh , D. Geetha ‘‘ Structural, FTIR and photoluminescence studies of Fe doped ZnO nanopowder by co-precipitation method ‘‘ Spectrochimica Acta , (14)00458-2 , 2014,pp. 1386-1425 .
- [8] M.Sathya , K. Pushpanathan . ‘‘ Synthesis and Optical Properties of Pb Doped ZnO Nanoparticles ‘‘ Applied Surface Science , V.449 , 2018, pp. 346-357.
- [9] K.Sowri Babu ‘‘ Synthesis and optical characterization of porous ZnO ‘‘ Journal of Advanced Ceramics. 2(3) , 2013, pp.260-265.
- [10] T.Thangeeswari ‘‘ Optical properties and FTIR studies of cobalt doped ZnO nanoparticles by simple solution method ’’ Indian Journal of Science and Technology . 9(1) , 2016 .
- [11] S.Guitouni / Mémoire de Magister , Université Mentouri Constantine / 2010, 36.
- [12] R. C. Weast and M. J. Astle, "Hand Book of Chemistry and Physics" , CRC Press, 1979.