

دراسة مطيافية الأشعة تحت الحمراء لأوكسيد الرصاص

د. فريد نصور *

تاريخ الإيداع 20 / 1 / 2019. قُبل للنشر في 27 / 2 / 2019

□ ملخص □

تعتبر دراسة الأكاسيد الشفافة (TCO) ذات أهمية علمية بالغة نظراً لتطبيقاتها العلمية الواسعة لذلك جاءت دراستنا لبعض الخصائص الفيزيائية لمركب أوكسيد الرصاص ، فمن خلال قياس طيف الأشعة تحت الحمراء تبين تسعة ترددات اهتزازية أبرزها $(360, 425, 750, 1400, 1460, 1650, 1850, 2400, 3450) \text{cm}^{-1}$ ، وأظهرت الدراسة بأن أصغر قيمة لقرينة الانكسار الامتصاصية هي $n=1.7795$ الموافقة لتردد العتبة الاهتزازية $\nu=750 \text{cm}^{-1}$ وأصغر طول ضوئي $L=0.02173 \text{cm}$ الموافق لتردد العتبة الاهتزازية 3450cm^{-1} وأكبر طول ضوئي $L=0.7015 \text{cm}$ الموافق لتردد العتبة الاهتزازية $\nu=750 \text{cm}^{-1}$ ، وتبين لدينا أكبر قيم لقرينة الانكسار ومعامل التوهين والناقلية الضوئية على الترتيب هي $n=9.9498$ ، $\alpha=46 \text{cm}^{-1}$ ، $\sigma_{\text{opt}}=1.2146(\Omega \text{cm})^{-1}$ ، موافقاً لتردد العتبة الاهتزازية عند $\nu=3450 \text{cm}^{-1}$.

الكلمات المفتاحية: أوكسيد الرصاص - 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.

Studying infrared spectroscopy of lead oxide

Dr. Farid Nassour*

(Received 20 / 1 / 2019. Accepted 27 / 2 / 2019)

□ ABSTRACT □

The study of transparent oxides (TCO) is of great scientific importance due to its wide scientific applications . Therefore, our study of some physical properties of the lead oxide compound . The measurement of the infrared spectrum shows nine vibration frequencies (360, 425, 750, 1400, 1460, 1650, 1850, 2400, 3450) cm^{-1} , the study showed that the smallest value of the refractive index is $n=1.7795$ for the frequency of the vibrational threshold $\nu=750\text{cm}^{-1}$, and the smallest optical length $L=0.0217\text{cm}$ corresponding to the vibrational threshold frequency 3450cm^{-1} and the largest optical length $L=0.7015\text{cm}$ corresponding to the vibrational threshold frequency $\nu=750\text{cm}^{-1}$, showing the largest values for the refractive index and the attenuation coefficient and optical conductivity respectively are $n=9.949$, $\alpha=46\text{cm}^{-1}$, $\sigma_{\text{opt}}= 1.2146(\Omega\text{cm})^{-1}$ corresponding to the vibrational threshold frequency at $\nu=3450\text{cm}^{-1}$.

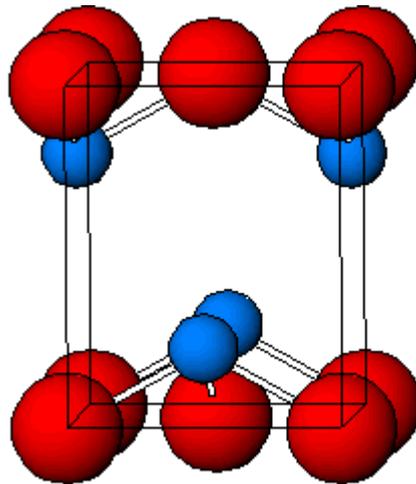
Keywords: Lead Oxide, infrared spectrum, vibrational threshold frequency, absorption refractive index, optical conductivity .

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

مقدمة :

تُعد الأكاسيد الشفافة الناقلة TCO من المواد ذات الأهمية البالغة التي تدخل في عدة مجالات صناعية كالإلكترونيات الضوئية والبطاريات إذ تجمع هذه المواد بين الناقلية الكهربائية والشفافية الضوئية، وكذلك تتميز بأنها عاكسة في مجال الأشعة تحت الحمراء وهذه الخاصية هي المسؤولة عن استخدام الأكاسيد الشفافة الناقلة كمواد حافظة للطاقة ومن هذه الأكاسيد أكسيد الرصاص الذي يعد مهماً من الناحية التكنولوجية نظراً لخصائصه الجذابة حيث يمتلك أكسيد الرصاص مستويات متعددة من الانعكاس مما يجعلها مناسبة لأجهزة التخزين الضوئية . [1]

ومن بين الخصائص المختلفة التي يمتلكها أكسيد الرصاص ، فإن أول أكسيد الرصاص PbO هو مادة جذابة ذات ناقلية منخفضة ، و خصائص نصف ناقلة مثيرة للاهتمام وصور ناقلة والذي يجعلها مناسبة في تكنولوجيا الليزر وتطبيقات أجهزة التصوير [2] ، كذلك في تطبيقات مثل أجهزة استشعار الغاز من أجل CO₂، وأيضاً تعد مواد عالية قرينة الانكسار ، واستخدمت افلام PbO كمواد أقطاب لبطاريات الليثيوم الثانوية [3]. غالباً ما يكون تحضير فيلم PbO معقداً بسبب تقلباته العالية عند درجات الحرارة المنخفضة ، فعند درجة حرارة منخفضة يوجد PbO في طور رباعي (α -PbO) ، وعند درجة حرارة عالية يوجد في طورالمحاور ، عند درجة حرارة 490°C تحت ضغط جوي يخضع (α -PbO) لانتقال طوري إلى (β -PbO) .



الشكل (1) البنية البلورية لأوكسيد الرصاص .

تم ترسيب أفلام رقيقة من أكسيد الرصاص PbO على ركائز زجاجية باستخدام تقنية البخ الحراري الكيميائي (CSP). حيث درست تأثير درجة حرارة الركيزة على الخصائص البنيوية والضوئية للأفلام وأكسيد الرصاص عند سماكة 177nm ، وأظهرت قياسات XRD للأفلام أنها كانت متعددة التبلور . وكذلك أظهر النتائج ازدياد حجم التبلور للأفلام من 21.79nm عند درجة حرارة 200°C إلى 53.14nm عند درجة حرارة 300°C ومن ثم تتخفف مع زيادة درجة حرارة الركيزة ، ووجد من طيف UV-vis أن فجوة الطاقة تزداد من 2.31eV إلى 2.80eV بازدياد درجة حرارة الركيزة [4] .

تم تحضير جسيمات نانوية من أوكسيد الرصاص المشاب بالزنك بتركيز اشابة مختلفة باستخدام طريقة الترسيب الكيميائي ، أظهرت نتائج حيود الاشعة السينية دليلا على انزياح في قيم 2θ باتجاه زاوية أعلى ، التي تشير إلى استبدال ذرات Zn^{2+} في مواقع شبكة Pb^{2+} . حيث تخلق ذرات Zn سويات طاقة شائبة في PbO وهذا يؤكد من خلال قيم فجوة الطاقة في طيف UV-vis . [5]

تم تحضير جسيمات نانوية من أوكسيد الرصاص PbO المشاب بالكاديوم Cd بواسطة طريقة دمج الميكرويف الحراري . حيث تم حساب متوسط الحجم البلوري باستخدام حيود الاشعة السينية $74.09nm$ ، وتم تحليل مورفولوجية اكسيد الرصاص المشاب بالكاديوم باستخدام صور SEM ، واستخدمت تقنية تحويل فورييه للأشعة تحت الحمراء FTIR لقياس تردد الاهتزاز للروابط في الجزئي [6] .

تم تحضير أفلام أوكسيد الرصاص باستخدام البخ الحراري الكيميائي CSP ، أظهر تحليل حيود الاشعة السينية XRD بأن كل الأفلام كانت متعددة التبلور في طور رباعي tetragonal وتقدم اتجاه عشوائي ، وتظهر النتائج ناقلية أوكسيد الرصاص حوالي $5.17 \times 10^{-6} (\Omega cm)^{-1}$ ، عند درجة حرارة الغرفة ، وهذه الناقلية تزداد بازدياد سماكة الفيلم وكذلك طاقة التنشيط تزداد بازدياد سماكة الفيلم [7] .

تم تحضير افلام اكسيد الرصاص PbO باستخدام تقنية الترسيب الكيميائي CBD ، تكشف دراسة حيود الاشعة السينية XRD للأفلام أن شدة قمم الحيود المميزة للأفلام تزداد مع زيادة درجة حرارة التلييد ولكنها تختفي تماماً عند درجات حرارة تلييد أعلى . يتراوح قطر الحبيبات من $0.097nm$ إلى $0.987nm$ في نطاق درجات حرارة التلييد . ينخفض انعكاس الفيلم من 20% في منطقة الاشعة فوق البنفسجية إلى 13% في منطقة تحت الحمراء القريبة . من ناحية أخرى تتراوح النفاذية من 40% إلى 77% ، وتتراوح قرينة الانكسار بين 2.10 و 2.64 ، ويبلغ نطاق فجوة الطاقة التي تم الحصول عليها للأفلام (2.00-3.00ev) ، تشير النفاذية العالية للأفلام في منطقة الاشعة تحت الحمراء إلى أن الافلام يمكن أن تكون مفيدة في طلاء النوافذ لاحداث الدفاء في الغرف [8] .

1- مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

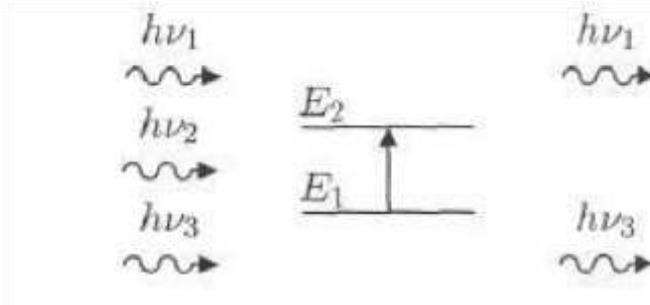
الأشعة تحت الحمراء هي أشعة كهرومغناطيسية لها كل خواص [الضوء] الأساسية التي تتمثل بظواهر الانتشار والانعكاس والانكسار والتداخل والانعراج والاستقطاب. والأشعة تحت الحمراء أشعة غير مرئية حرارية وتتبعث من الشمس أو من منابع اصطناعية لها قدرة عالية على الاختراق و النفوذ وتتبعث كذلك من أجسامنا وهي الأشعة التي 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:

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

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 $(20-1400\text{cm}^{-1})$.
لا تكفي طاقة الأشعة تحت الحمراء لإحداث إثارة الكترونية في معظم المواد ، إلا أنها كافية لإحداث اهتزازات امتنطاط وانثناء في الروابط ، وجميع أنواع الروابط تستجيب لهذا المقدار من الطاقة لتحث فيها اهتزازات من هذا النوع لذلك تمتص في منطقة تحت الحمراء بشرط أن يؤدي الامتصاص إلى تغير في العزم القطبي ، وهذه الاهتزازات مكممة، وحدثها يعني أن المركب يمتص طاقة تحت الحمراء في جزء معين من الطيف [9].
إن أغلب التحليلات الطيفية تجري في المنطقة تحت الحمراء الوسطى حيث أن هذه المنطقة تحدث فيها أغلب الاهتزازات الجزيئية، والباحث يجد فيها كفايته من المعلومات لتحديد البنية الجزيئية للمركبات المدروسة.

3- مبدأ مطيافية الأشعة تحت الحمراء:

تهتز الجزيئات الطبيعية تبعاً لجميع أنماط اهتزازها، ولكن بسعات ضعيفة جداً ، مع ذلك يملك الفوتون مركبة كهربية حيوية ، إذا كان تواتر الفوتون يوافق تواتر اهتزاز الأنماط العادية للجزيء، فإن الجزيء سوف يدخل في الرنين ويهتز 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 إلى طاقة اهتزاز . كما في الشكل



الشكل(2) امتصاص الأشعة تحت الحمراء [10]

فقط الفوتون الذي طاقته $h\nu$ مساوية لطاقة الانتقال (E_2-E_1) هو الذي يمتص وبالتالي يحدث خللاً في الإشعاع المنبعث. يؤدي امتصاص بعض الفوتونات الواردة إلى ظهور خطوط توافق الفوتونات التي لم يتم انبعاثها في منحنى طيف ماتحت الحمراء للجزيء، يميز هذا الامتصاص الروابط بين الذرات ، بما أن كل نمط اهتزاز يوافق حركة وحيدة للجزيء يوجد إذاً توافق مباشر بين تواتر الإشعاع الممتص وبنية الجزيء [10].

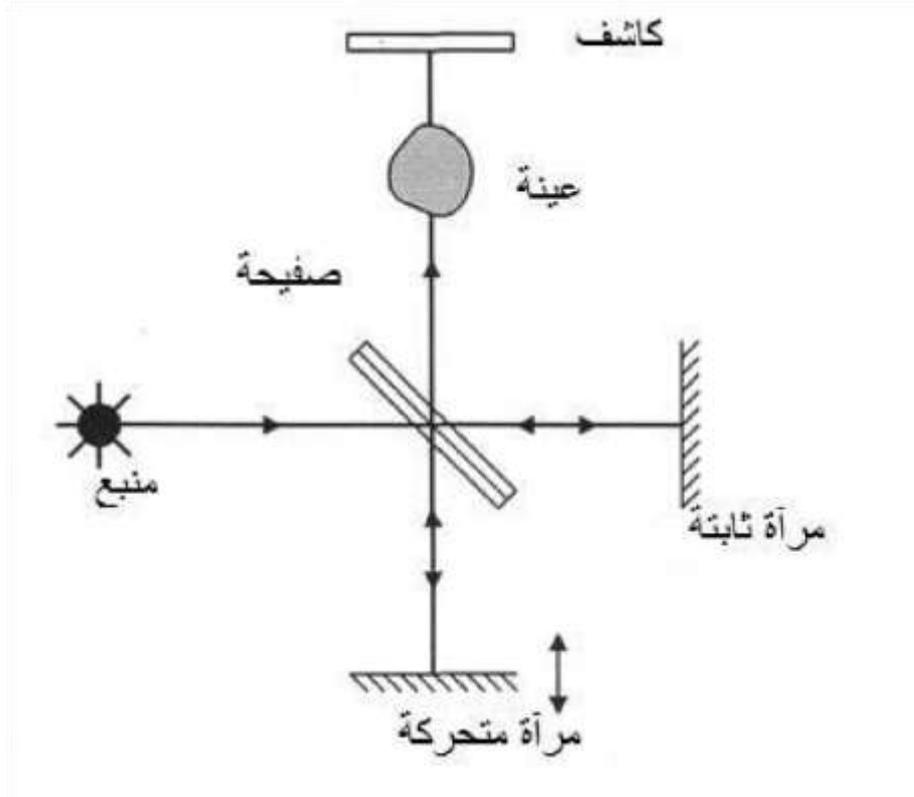
أهمية البحث وأهدافه :

تكمن أهمية هذا العمل في تحديد مجال ترددات الإمتصاص أي ترددات عينات الاهتزاز لأطياف الأشعة تحت الحمراء IR لأوكسيد الرصاص ومن ثم إيجاد قرينة الانكسار ، الامتصاصية ، معامل الامتصاص ، قرينة الامتصاص ، الطول الضوئي والناقلية الضوئية .

طرائق البحث ومواده :

تم استخدام مساحيق عالية النقاوة لأوكسيد الرصاص 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 التردد الاهتزازي $(400-4000\text{cm}^{-1})$ حيث تمتص كل مادة عضوية عدداً مميزاً من الاهتزازات 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 مما يؤدي إلى تغير دوري في طول الروابط الكيميائية أو تغير في الزوايا بين الروابط الكيميائية في الجزيء. وقد تنتج كل حركة أهتزازية من حركة ذرتين أو قد تشمل مجموعة من الذرات ويتوقف عدد الإنتقالات الاهتزازية في الجزيء على عدد الذرات المكونة له تقف 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 ، ومخطط عمل الجهاز موضح بالشكل



الشكل (3): مخطط مطيافية الأشعة تحت الحمراء

النتائج والمناقشة :

سنقوم فيما يلي بعرض نتائج دراسة أطيف الأشعة تحت الحمراء التي تمت على مركب أكسيد الرصاص باستخدام مقياس الطيف Jasco نوع FT/IR-460 plus الموجود في المختبر المركزي لكلية العلوم - جامعة تشرين الذي يعمل ضمن المجال $(400-4000)cm^{-1}$ ويبين الشكل (4) طيف IR لتلك العينة . حيث تم قياس :

1- **النفاذية T** : وتعرف بأنها النسبة بين شدة الإشعاع النافذ إلى شدة الإشعاع الساقط ، وقد أخذت من الجهاز نفسه ومن ثم باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة تم حساب المعاملات الضوئية الأخرى .

2- **الامتصاصية A** : هي النسبة بين شدة الإشعاع الممتص إلى شدة الإشعاع الساقط ، وتحسب من العلاقة :

$$A = \log\left(\frac{100}{T\%}\right) \quad (1)$$

حيث : T تمثل النفاذية .

3- **معامل الامتصاص α** : يعرف بأنه النسبة بين النقصان في فيض طاقة الإشعاع الساقط إلى واحدة المسافة باتجاه انتشار الموجة الضوئية الساقطة داخل الوسط ، ويحسب من العلاقة :

$$\alpha = 2.3 \frac{A}{d} \quad (2)$$

حيث : d سمك المادة .

4- **معامل التخامد k** : يعرف بأنه كمية ما تمتصه الكثرونات المادة المدروسة من طاقة فوتونات الإشعاع الساقط عليها ، ويحسب من العلاقة :

$$k = \frac{\alpha}{4\pi\nu} \quad (3)$$

5- قرينة الانكسار n : وهي النسبة بين سرعة الضوء في الخلاء إلى سرعته في الوسط ، وتحسب من العلاقة :

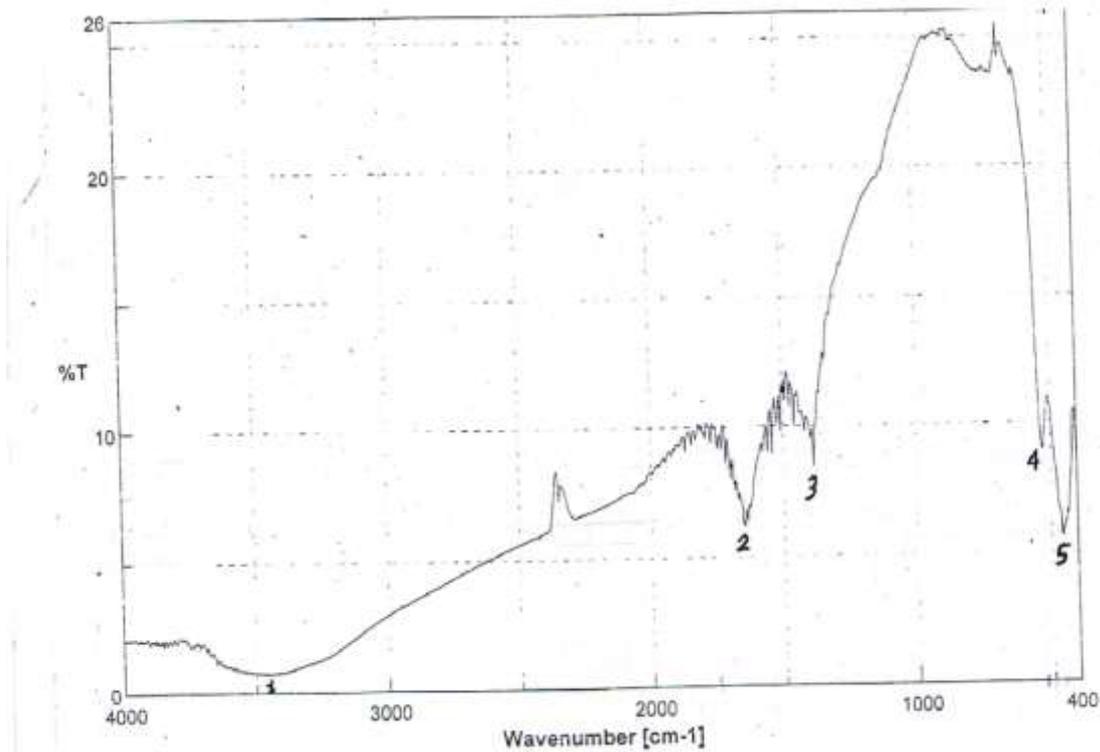
$$n = \left(\frac{100 - T\%}{T\%} \right)^{1/2} \quad (4)$$

6- الطول الضوئي L : وهو مقلوب معامل الامتصاص

$$L = \frac{1}{\alpha} \quad (5)$$

7- الناقلية الضوئية σ_{opt} : ترتبط الناقلية الضوئية بمعامل الانكسار ومعامل الخمود وفقاً للعلاقة التالية :

$$\sigma_{opt} = \frac{1}{30} nk\nu \quad (6)$$

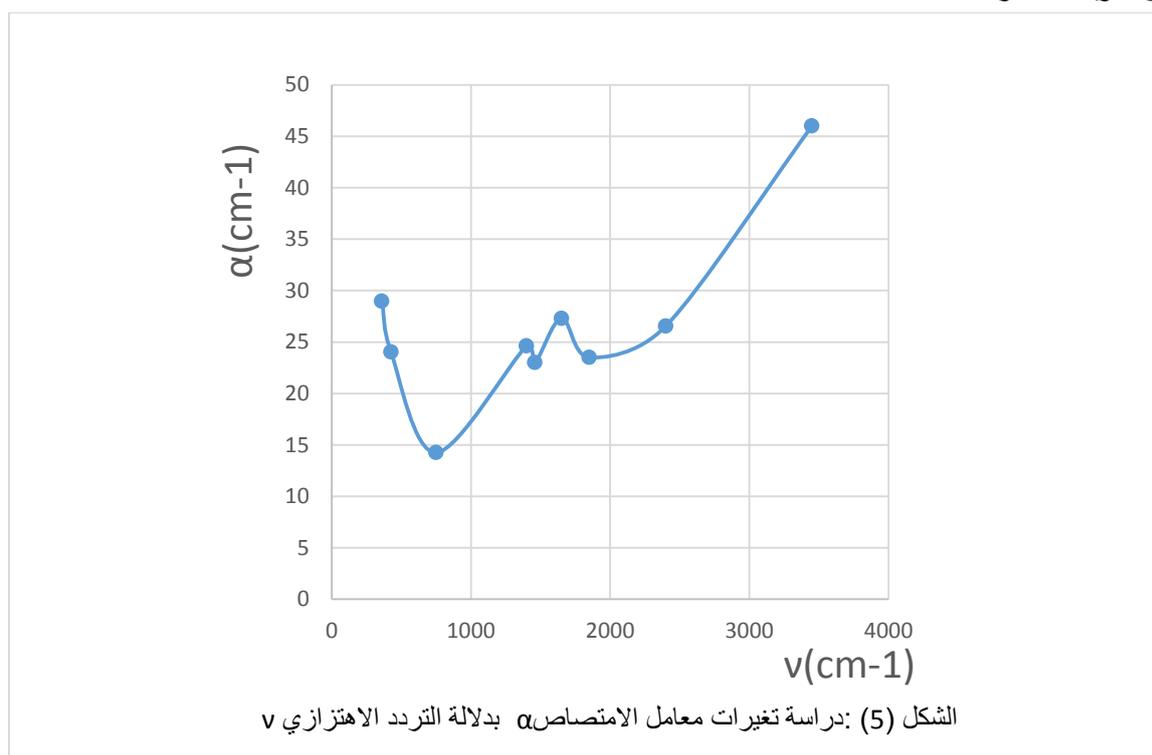


الشكل (4) يبين الشكل النفاذية المنوية بدلالة التردد الاهتزازي لمركب أوكسيد الرصاص النقي .

يتميز أوكسيد الرصاص بتسعة ترددات اهتزازية تقع ضمن المجال $(400-4000)\text{cm}^{-1}$ أبرزها وضوحاً عند الترددات $(360, 425, 750, 1400, 1460, 1650, 1850, 2400, 3450)\text{cm}^{-1}$ ، أما التردد 360cm^{-1} تم أخذه بعين الاعتبار لظهوره بشكل واضح علماً أنه لا ينتمي للمجال المدروس .
ويبين الجدول (1) تردد الاهتزازات لأوكسيد الرصاص مع قيم النفاذية الموافقة لكل تردد ، قرينة الانكسار ، معامل الامتصاص ، قرينة الامتصاص ، الطول الضوئي و الناقلية الضوئية .

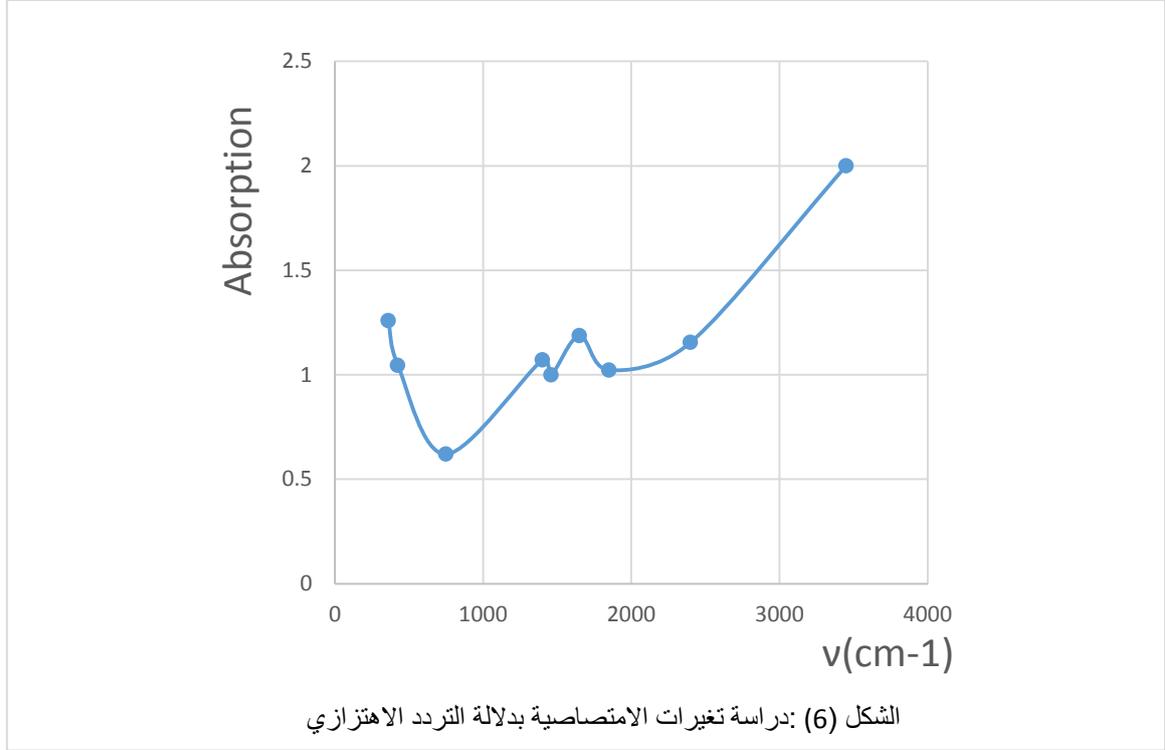
$\nu(\text{cm}^{-1})$	T%	n ₂	n	A	$\alpha(\text{cm}^{-1})$	k	L(cm)	$\sigma(\Omega\text{cm})^{-1}$
3450	1	99	9.949874	2	46	0.001062	0.021739	1.214687
2400	7	13.28571	3.644957	1.154902	26.56275	0.000881	0.037647	0.256953
1850	9.5	9.526316	3.086473	1.022276	23.51236	0.001012	0.042531	0.192596
1650	6.5	14.38462	3.792706	1.187087	27.30299	0.001317	0.036626	0.27482
1460	10	9	3	1	23	0.001254	0.043478	0.183121
1400	8.5	10.76471	3.280961	1.070581	24.62336	0.0014	0.040612	0.214406
750	24	3.166667	1.779513	0.619789	14.25514	0.001513	0.07015	0.067323
425	9	10.11111	3.179797	1.045757	24.05242	0.004506	0.041576	0.202977
360	5.5	17.18182	4.145096	1.259637	28.97166	0.006407	0.034516	0.318711

يبين الشكل (5) تغيرات معامل التوهين بدلالة التردد الاهتزازي حيث تنخفض قيمة معامل التوهين مع زيادة المواقع الاهتزازية حتى يصل لأدنى قيمة $\alpha=14.25514\text{cm}^{-1}$ لمعامل التوهين عند تردد اهتزازي $\nu=750\text{cm}^{-1}$ ، ويبدأ بالازدياد حتى يصل لقيمة لمعامل التوهين $\alpha=24.62336\text{cm}^{-1}$ عند تردد اهتزازي $\nu=1400\text{cm}^{-1}$ ، و ثم تنخفض قيمة معامل التوهين وبعدها تعود لتزداد ثم تنخفض ثم تزداد لتصل لأعظم قيمة لمعامل التوهين $\alpha=46\text{cm}^{-1}$ المقابل لتردد اهتزازي مقداره $\nu=3450\text{cm}^{-1}$ ، وهذا يعود إلى قوى الترابط بين جزيئات المركب.

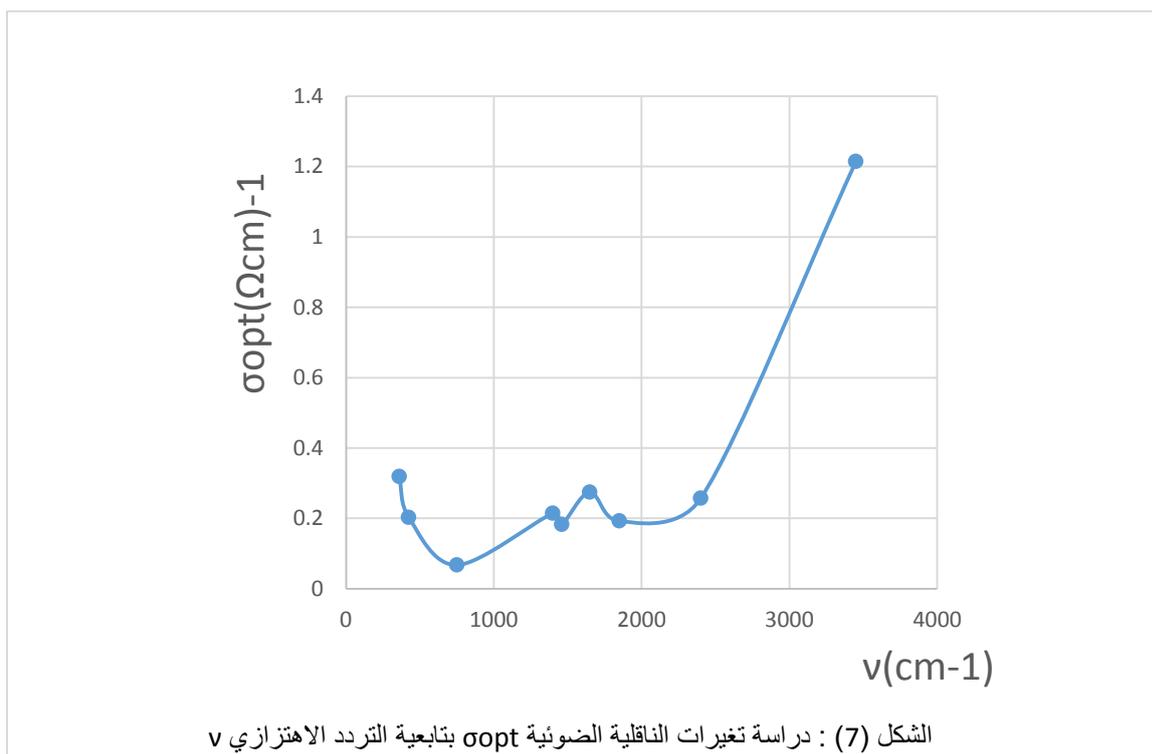


ويبين الشكل (6) تغيرات الامتصاصية بدلالة التردد الاهتزازي حيث تنخفض الامتصاصية مع زيادة المواقع الاهتزازية حتى يصل لأدنى قيمة $A=0.619789$ للامتصاصية عند تردد اهتزازي $\nu=750\text{cm}^{-1}$ ، وتبدأ بالازدياد حتى تصل لقيمة $A=1.070581$ عند تردد اهتزازي $\nu=1400\text{cm}^{-1}$ ، و ثم تنخفض قيمة الامتصاصية وبعدها تعود لتزداد ثم

تتخفف ثم تزداد لتصل لأعظم قيمة للامتصاصية $A=2$ المقابل لتردد اهتزازي مقداره $\nu=3450\text{cm}^{-1}$ ، وهذا يعود أن قوى الترابط ضعيفة .



يبين الشكل (7) تغيرات الناقلية الضوئية بدلالة التردد الاهتزازي حيث تتخفف قيمة الناقلية الضوئية مع زيادة المواقع الاهتزازية حتى يصل لأدنى قيمة $\sigma_{\text{opt}}=0.067323(\Omega\text{cm})^{-1}$ للناقلية الضوئية عند تردد اهتزازي $\nu=750\text{cm}^{-1}$ ، وتبدأ بالازدياد حتى تصل لقيمة للناقلية الضوئية $\sigma_{\text{opt}}=0.214406(\Omega\text{cm})^{-1}$ عند تردد اهتزازي $\nu=1400\text{cm}^{-1}$ ، وثم تتخفف قيمة الناقلية الضوئية وبعدها تعود لتزداد ثم تتخفف ثم تزداد لتصل لأعظم قيمة لناقلية الضوئية $\sigma_{\text{opt}}=1.214687(\Omega\text{cm})^{-1}$ المقابل لتردد اهتزازي مقداره $\nu=3450\text{cm}^{-1}$ ، وذلك بسبب الفراغات المكانية بين الذرات .



وفقاً للمنحنيات السابقة الموافقة للأشكال (5, 6, 7) تبين أن القيم العظمى لكل من معامل التوهين ، الامتصاصية ، والناقلية الضوئية توافق التردد الاهتزازي 3450cm^{-1} .

الاستنتاجات و التوصيات :

- 1- أظهر طيف IR لأوكسيد الرصاص تسع ترددات اهتزازية تقع ضمن المجال $(400-4000)\text{cm}^{-1}$ أبرزها $(360, 425, 750, 1400, 1460, 1650, 1850, 2400, 3450)\text{cm}^{-1}$
- 2- قيمة الامتصاصية A تتراوح ضمن المجال [2 - 0.619789] .
- 3- قيمة قرينة الانكسار تتراوح ضمن المجال [9.9498 - 1.7795] .
- 4- قيمة معامل التوهين (الامتصاص) α تتراوح ضمن المجال $[46 - 14.2551]\text{cm}^{-1}$.
- 5- قيمة الطول الضوئي L تتراوح ضمن المجال $[0.02173 - 0.07015]\text{cm}$.
- 6- قيمة الناقلية الضوئية σ_{opt} تتراوح ضمن المجال $[0.06732 - 1.2146](\Omega\text{cm})^{-1}$.
- 7- أكبر قيم قرينة الانكسار ومعامل التوهين والناقلية الضوئية هي على الترتيب $\sigma_{opt}=1.2146(\Omega\text{cm})^{-1}$, $\alpha=46\text{cm}^{-1}$, $n=9.9498$ عند تردد العينة الاهتزازية $\nu=3450\text{cm}^{-1}$.
- 8- أكبر طول ضوئي $L=0.07015\text{cm}$ كان موافقاً للتردد $\nu=750\text{cm}^{-1}$.
- 9- يتمتع المركب بأصغر ناقلية ضوئية عند $\sigma_{opt}=0.06732(\Omega\text{cm})^{-1}$ الموافقة لتردد العينة الاهتزازية $\nu=750\text{cm}^{-1}$.
- 10- نوصي بمتابعة البحث لأكاسيد أخرى مثل أكسيد النحاس .
- 11- إضافة شوائب مختلفة لأكسيد النحاس ودراسة التغيرات في الخصائص الفيزيائية .

المراجع:

- [1] S. Chao, Y. F. Fuang, Y. C. Chen and L.Yen, "Multiple phase change of lead oxide film for optical storage", J. Phys. vol.23, 1990, p. 955.
- [2] G. Trinquie and R. Hoffmann , "Lead oxide electronic structure and bonding", J. Phys. Chem. vol.88, 1984, p. 6696 .
- [3] M. Martos, J. Morales, L. Sanchez, R. Ayouchi, D. Leinen, F. Martin and J.R. Ramos Barrado, "Electrochemical properties of lead oxide films obtained by spray pyrolysis as negative electrodes for lithium secondary batteries", Electrochem.Acta. vol. 46, 2001, p. 2939.
- [4] Abdulazeez O.Mousa and Ali F.Marmoss , "Effect of substrate temperature on structural and optical properties of PbO thin films deposited by chemical spray pyrolysis technique " , IJPCBS, vol.6(4), 2016 ,pp. 356-364 .
- [5] N.Mythili , K.T.Arulmozhi , " A comparative study on the structural and optical properties of PbO and Zn doped PbO nanocrystals " , J Mater Sci: Mater Electron , 2014.
- [6] S.G.Rejith , G.Suddha , " Investigation on Structural and optical properties of cadmium doped lead oxide nano particles " , IARJEST , vol. 4, 2017 , pp.130-132.
- [7] Abdulazeez O.Mousa , Ali F.Marmoss, " Study the structural and electrical properties of PbO thin films deposited by chemical spray pyrolysis technique " , International Journal of Chem Tech Research , vol.10 No.9, 2017, pp. 625-632 .
- [8] D.D.O.Eya , Ph.D , " Influence of thermal annealing on the structural and optical properties of lead oxide thin films prepared by chemical bath deposition technique " , The Pacific Journal of Science and Technology , vol.7 N. 2, 2006, pp. 114-119 .
- [9] Francis Rouessac, Annick Rouessac, ANALYSE CHIMIQUE Méthodes et techniques instrumentales modernes, Dunod, Paris,2004.
- [10] Vincent Maget, Développement de méthodes de traitement de signaux spectroscopiques: estimation de linge de base et du spectre de raie, Univ Henri Poincaré, 2005.