

T/830.055

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة 08 ماي 1945 قالمة
كلية العلوم و الهندسة
قسم العلوم الدقيقة

مذكرة

مقدمة لنيل شهادة

الماجستير

دراسة الخواص المرونية للطبقات الرقيقة لأنصاف النواقل العضوية تطبيق: الأنتراسين

الفيزياء

تخصص: بصريات الطبقات الرقيقة

2006

من طرف

حداد عبد النور

تحت إشراف: الأستاذ عبد العزيز دغمان



أمام اللجنة

رئيسا	جامعة قالمة	أستاذ التعليم العالي	سطحة حميد
مقررا	جامعة عنابة	أستاذ التعليم العالي	دغمان عبد العزيز
ممتحنا	جامعة قالمة	أستاذ التعليم العالي	مدور عثمان
ممتحنا	جامعة عنابة	أستاذ التعليم العالي	حجوب زهية

الإهداء

الى ذكرى أبي و أمي العزيزين
الى أعظم أخ؛ الحاج رابح
الى زوجتي الحبيبة
الى اخوتي الأعزاء؛ ابراهيم، صالح، ناصر
و زوجاتهم
الى أخواتي العزيزات
و أزواجهن
الى أستاذي العزيز عبد العزيز دغمان
الى حمائي و حماتي
الى كل من علمني حرف واحد
الى كل من دعمني و لو بكلمة
الى كل أصدقائي

عبد النور حداد

تشكرات

أنجز هذا العمل في مخبر أنصاف النواقل، قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة باجي مختار، عنابة. أتقدم بالشكر الجزيل و فائق الاحترام و التقدير لمديرة المخبر، الأستاذة الدكتورة زهية حبوب، عضو بأكاديمية نيويورك للعلوم، على موافقتها لي على الإلتحاق بفريق البحث للمخبر، و على حسن معاملتها و رعايتها لي، و على النصائح و التوجيهات.

أتقدم بالشكر الجزيل و الاحترام و التقدير الوفير لأستاذي العزيز، الأستاذ الدكتور عبد العزيز دغمان، أستاذ التعليم العالي بجامعة عنابة، و عضو بأكاديمية نيويورك للعلوم سلك الأساتذة، لقبوله الإشراف على هذه الأطروحة، و على نصائحه، إرشاداته، و توجيهاته العلمية القيمة خلال فترة البحث. كما أشكره على تفهمه الدائم ، و على دعمه المعنوي المستمر، كأستاذ و أخ.

أشكر جزيل الشكر الأستاذ الدكتور عبد الحميد سطحة، أستاذ التعليم العالي، و عميد كلية العلوم و الهندسة بجامعة قالمة على قبوله رئاسة لجنة مناقشة هذه الرسالة.

أشكر جزيل الشكر الأستاذ الدكتور عثمان مدور، أستاذ التعليم العالي، بجامعة قالمة، الذي كان لي شرف متابعة دروسه خلال فترة ما بعد التدرج، على قبوله عضو في لجنة مناقشة هذه الرسالة.

أشكر من جديد الأستاذة الدكتورة زهية حبوب، أستاذة التعليم العالي بجامعة عنابة على قبولها عضو في لجنة مناقشة هذه الرسالة.

أشكر جزيل الشكر أعضاء مخبر أنصاف النواقل بجامعة عنابة، على روح التعاون التي سادت الفريق و أخص بالذكر: إلهام، نوام، مباركة، آسيا و مليكة دغمان.

أشكر زملائي و زميلاتي في قسم الفيزياء، خاصة:كمال زنات، محمد، فاتح، علي و كل من ساهم من قريب أو بعيد في انجاز هذه الرسالة.

كما أتقدم بجزيل الشكر الى كافة أفراد عائلتي على دعمهم المعنوي الذي كان له كبير الأثر في إنجاز هذا العمل.

أتقدم بشكر خاص لزوجتي الغالية، على صبرها علي وعلى تفانيها، دعمها، تضحياتها، و كل مجهوداتها التي بذلتها من أجلي و من أجل إنجاز هذه الرسالة.

المخلص

اهتم موضوع هذا البحث بدراسة الخواص المرونية للطبقات الرقيقة لأنصاف النواقل العضوية؛ كتطبيق على مادة الأنتراسين. المنهجية المتبعة شملت استخدام نموذج شيبير و ويلسون لحساب كل من معامل الانعكاس $R(\theta)$ و الإمضاء الصوتي $V(z)$. التحليل الطيف لهذه المنحنيات باستخدام تحويل فورييه السريع سمح بتعيين قيم سرعات الأنماط المعتبرة. أعيد استخدامها هذه الخطوات من أجل كل بنية طبقة مسند و كذا من أجل القيم المختلفة لسماك الطبقة. بذلك، استطعنا تعيين الخواص المرونية، $R(\theta)$ و $V(z)$ ، للأنتراسين في حالة تحميل المسند من أجل البنية أنتراسين SiO_2 ، و في حالة تصلب المسند من أجل البنية أنتراسين PTFE . تحليل منحنيات التبدد بين تأثير بعض العوامل؛ التواتر، كثافة المادة، سمك الطبقة و كثافة المسند في فعالية توليد نمط رايلي. الدراسة التحليلية لمنحنيات تبدد النمط الطولي قد أنجزت كذلك من أجل البنيات أنتراسين SiO_2 و أنتراسين Cu .

الكلمات المميزة: المجهرية الصوتية، الأنتراسين، البوليميرات نصف الناقلة، الطبقات الرقيقة، أنصاف النواقل العضوية، المساند، منحنيات التبدد.

Abstract

This work is concerned with the investigation of elastic properties of organic semiconductors as thin films with particular application to Anthracene. The methodology consisted of the application Sheppard and Wilson model to the calculation of both reflection coefficient, $R(\theta)$, and acoustic materials signatures, $V(z)$. Spectral analysis of such curves, via fast Fourier transform, led to the determination of velocities of the most dominant propagating surface mode. These steps were repeated for each structure as well as for each thickness. Hence, we were able to determine elastic properties, $R(\theta)$ and $V(z)$, of Anthracene as well as the rigidity effect in the structure Anthracene/PTFE and loading effect the system Anthracene/SiO₂. Moreover, dispersion curves analysis showed the influence of some parameters, densities, thickness, frequency, etc on the generation efficiency of the most dominant mode. Analytical investigation of longitudinal velocity dispersion was also carried out for the structures: anthracène/SiO₂ and Anthracene/Cu.

Key words: Acoustic microscopy, Anthracene, semi-conducting polymer, thin films, organic semiconductor, substrates, dispersion curves.

Résumé

Ce travail a porté sur l'investigation, via la simulation théorique, des propriétés élastiques des semi-conducteurs organiques en couches minces avec une application particulière à l'anthracène. La méthodologie consistait à calculer le coefficient de réflexion, $R(\theta)$, et les signatures acoustiques, $V(z)$, par application du modèle de Sheppard et Wilson. L'analyse spectrale de ces signatures via la transformée de Fourier rapide a permis la détermination des vitesses de propagation des modes considérés. Ces étapes sont répétées pour chaque structure couche mince/substrat ainsi que pour plusieurs épaisseurs de chaque couche. Ainsi, une étude a été effectuée sur les caractéristiques élastiques $R(\theta)$ et $RV(z)$ de l'anthracène ainsi que l'effet de rigidité dans la structure anthracène/PTFE et l'effet de charge dans le système anthracène/ SiO_2 du mode le plus dominant, celui de Rayleigh. L'analyse des courbes de dispersion a révélé l'influence de certains paramètres : densité, épaisseur, fréquence, ... sur l'efficacité de génération de ce mode. L'étude analytique des courbes de dispersion du mode longitudinal a été également effectuée pour deux structures : anthracène/ SiO_2 et anthracène/Cu.

Mots clés : Acoustique microscopie, Anthracene, polymère semi-conducteur, couche mince, semi-conducteur organique, courbes de dispersion.

قائمة الأشكال

- الشكل (1-1): التراكيب الكيميائية لبعض المركبات العضوية نصف الناقلة.....04
- الشكل (2-1): مخطط المدارات الجزيئية.....05
- الشكل (3-1): عصابة الطاقة للأنتراسين و جزيئات الأسين الأخرى.....06
- الشكل (4-1): تطعيم البولي أنيلين بواسطة التفاعل البروتوني.....08
- الشكل (5-1): آلية تشكل بولرون في البولي ثيوفان12
- الشكل (6-1): آلية تشكل البولرون مضاعف في البولي ثيوفان13
- الشكل (7-1): آلية تشكل الصوليتونات البولي أسيتيلين لمفروق.....14
- الشكل (8-1): مخطط جابلونسكي.....15
- الشكل (9-1): الرسم التخطيطي الذي يوضح تشكل و اضمحلال الحالات
المثارة المفردة و الثلاثية في البوليمر المترافق تحت تأثير
كل من الإثارة الضوئية والكهربائية.....17
- الشكل (10-1): منحنى التآلق الضوئي PL و التآلق الكهربائي EL للأنتراسين النقي.....19
- الشكل (11-1): صورة لمحلول الأنتراسين في التيترا هيدرو فيران (THF)
قبل و بعد تعريضه للأشعة فوق البنفسجية UV19
- الشكل (1-2): بلورة أنتراسين قطرها 10 mm23

- الشكل (2-2): جزيء الأنتراسين..... 23
- الشكل (3-2): الخلية الأساسية للأنتراسين، و مواقع الجزيئات في الخلية الأساسية..... 24
- الشكل (4-2): قابلية ذوبان الأنتراسين في CS_2 و CCl_4 بدلالة درجة الحرارة..... 24
- الشكل (5-2): مخطط لمجهر صوتي يعمل في نظام الانعكاس 26
- الشكل (6-2): هندسة و إحداثيات الجملة المستخدمة في نموذج الطيف الزاوي
توضح المسافة البؤرية z و فتحة العدسة θ_m 29
- الشكل (7-2): استجابة العدسة $V_{len}(z)$ و استجابة الجملة (عدسة+عينة)
 $V(z)$ لمادة الأنتراسين..... 31
- الشكل (8-2): استجابة العينة $V_s(z)$ لمادة الأنتراسين..... 32
- الشكل (9-2): طيف تحويل فورييه السريع للأنتراسين..... 32
- الشكل (10-2): معامل الانعكاس للأنتراسين. 36
- الشكل (11-2): الإمضاء الصوتي للأنتراسين. 37
- الشكل (12-2): التحليل الطيفي FFT لمنحنى الإمضاء الصوتي للأنتراسين..... 38
- الشكل (1-3): التحليل الطيفي و الإمضاء الصوتي لمختلف قيم السمك المنظم
للبنية أنتراسين / PTFE. 42
- الشكل (2-3): منحنى تبدد سرعة رايلي للبنية أنتراسين / PTFE 43
- الشكل (3-3): التحليل الطيفي و الإمضاء الصوتي لمختلف قيم السمك المنظم
للبنية أنتراسين / SiO_2 45
- الشكل (4-3): منحنى تبدد سرعة رايلي للبنية أنتراسين / SiO_2 46
- الشكل (5-3): منحنى تبدد السرعات لجميع الأنماط ، للبنية أنتراسين / SiO_2 47
- الشكل (6-3): منحنى تبدد السرعة الطولية للبنية أنتراسين / SiO_2 48

- الشكل (3-7): منحني تبدد السرعات لجميع الأنماط ، للبنية أنتراسين/ نحاس49
- الشكل (3-8): منحني تبدد السرعة الطولية ، للبنية أنتراسين/ نحاس49
- الشكل (3-9): تأثير التواتر على فعالية نمط رايلي51
- الشكل (4-10): تأثير تواتر العمل على فعالية نمط رايلي51
- الشكل (3-11): تأثير الكثافة على فعالية نمط رايلي52
- الشكل (3-12): تأثير كثافة المادة على فعالية نمط رايلي52
- الشكل (3-13): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/ SiO_2 54
- الشكل (3-14): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/PTFE54
- الشكل (3-15): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/silver-epoxy55
- الشكل (3-16): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/Der33255
- الشكل (3-17): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/ Crystallor56
- الشكل (3-18): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي ، للبنية أنتراسين / مسند
من أجل قيم مختلفة لكثافة المسند، و ذلك في حالة تحميل المسند.....58
- الشكل (3-19): تأثير الكثافة على فعالية نمط رايلي ، للبنية أنتراسين / مسند
من أجل قيم مختلفة للسمك المنظم، و ذلك في حالة تحميل المسند.....59
- الشكل (3-20): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي ، للبنية أنتراسين / مسند
من أجل قيم مختلفة لكثافة المسند،و ذلك في حالة تصلب المسند.....61
- الشكل (3-21): تأثير الكثافة على فعالية نمط رايلي ، للبنية أنتراسين / مسند
من أجل قيم مختلفة للسمك المنظم، و ذلك في حالة تصلب المسند.....61

قائمة الجداول

- الجدول (1-2): ثوابت الصلابة المرونية للأنتراسين 33
- الجدول (1-3): مميزات المواد المستعملة في دراسة تأثير السمك
علي فعالية نمط رايلي 53
- الجدول (2-3): مميزات المساند المستعملة في دراسة تأثير كثافة المسند على فعالية
نمط رايلي للبنية أنتراسين/ مسند، في حالة تحميل المسند 58
- الجدول (3-3): مميزات المساند المستعملة في دراسة تأثير كثافة المسند على فعالية
نمط رايلي للبنية أنتراسين/ مسند، في حالة تصلب المسند 60

جدول المواد

01..... المقدمة العامة

03..... الفصل الأول: أنصاف النواقل العضوية و خواصها الكهربائية و الضوئية....

04..... 1-1 أنصاف النواقل العضوية

04..... 1-1-1 أنصاف النواقل العضوية الذاتية

06..... 2-1-1 أنصاف النواقل العضوية المطعمة

07..... 1-2-1-1 التطعيم الكيميائي بنقل الشحنة

07..... 2-2-1-1 التطعيم الكهروكيميائي

08..... 3-2-1-1 التطعيم بكيمياء الأحماض و الأسس

09..... 4-2-1-1 التطعيم الضوئي

09..... 5-2-1-1 حقن الشحنة عند الوصلة معدن-بوليمر نصف ناقل...

10..... 2-1 الخواص الكهربائية

10..... 1-2-1 ناقلية المركبات العضوية المترافقة

10..... 2-2-1 آلية النقل في أنصاف النواقل العضوية

11..... 3-2-1 حاملات الشحنة

11..... 1-3-2-1 البولرون

12..... 2-3-2-1 البولرون المضاعف

13..... 3-3-2-1 الصوليتون

14..... 3-1 الخواص الضوئية لأنصاف النواقل العضوية

15..... 1-3-1 حالات الإثارة المفردة والثلاثية في المركبات المقترنة....

17.....	الإكسيتونات	2-3-1
18.....	التألق	3-3-1
20.....	الفلورة و الفصفرة	4-3-1
20.....	التأثيرات البصرية اللاخطية	5-3-1

22..... الفصل الثاني: دراسة الخصائص المرونية للأنتراسين

22.....	التعريف بالأنتراسين	1-2
25.....	تقنية المجهرية الصوتية	2-2
25.....	وسائط SAM	1-2-2
27.....	مبدأ عمل SAM	2-2-2
27.....	كيفية حساب معامل الانعكاس $R(\theta)$	3-2-2
28.....	كيفية حساب $V(z)$	4-2-2
30.....	كيفية معالجة $V(z)$	5-2-2
33.....	تعيين الخصائص المرونية للأنتراسين	3-2
33.....	ثوابت الصلابة المرونية	1-3-2
34.....	حساب سرعة انتشار النمط الطولي و العرضي	2-3-2
34.....	تعيين سرعة رايلي V_R	3-3-2
35.....	شروط المحاكاة النظرية	1-3-3-2
35.....	تعيين $R(\theta)$	2-3-3-2
36.....	تعيين $V(z)$	3-3-3-2
37.....	تعيين FFT	4-3-3-2
38.....	الخلاصة	4-2

39..... الفصل الثالث: الوسائط الفيزيائية المؤثرة في منحنيات التبدد للأنتراسين

40.....	تبدد نمط رايلي	1-3
40.....	ظاهرة تصلب المسند (أنتراسين / PTFE)	1-1-3

40.....	تأثير السمك على $V(z)$	1-1-1-3
41.....	منحنى التبدد	2-1-1-3
43.....	ظاهرة تحميل المسند (أنتراسين / SiO_2)	2-1-3
44.....	تأثير السمك على $V(z)$	1-2-1-3
44.....	منحنى التبدد	2-2-1-3
46.....	دراسة تبدد النمط الطولي للأنتراسين	2-3
46.....	تبدد النمط الطولي للبنية أنتراسين / SiO_2	1-2-3
48.....	تبدد النمط الطولي للبنية أنتراسين / نحاس	2-2-3
50.....	دراسة العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي	3-3
50.....	تأثير التواتر على فعالية نمط رايلي	1-3-3
51.....	تأثير الكثافة على فعالية نمط رايلي	2-3-3
53.....	تأثير السمك على فعالية نمط رايلي	3-3-3
57....	تأثير كثافة المسند على فعالية نمط رايلي للبنية طبقة/مسند	4-3-3
57.....	حالة تحميل المسند	1-4-3-3
60.....	حالة تصلب المسند	2-4-3-3
62.....	الخلاصة	4-3
64.....	الاستنتاجات العامة	

المقدمة العامة

خلال السنوات الأخيرة لاقت الالكترونيات العضوية كثيرا من الاهتمام^[1]، فالمواد العضوية نصف الناقله درست على نطاق واسع، بسبب التوقعات الكبيرة لإمكانية تطبيقاتها في مختلف المجالات^[2]، فقد لاقت ترانزستورات الأفلام الرقيقة العضوية الكثير من الاهتمام، بسبب استعمالها في الأدوات الالكترونية المرنة ذات الوزن الخفيف، قليلة التكلفة، واسعة المساحة؛ مثل البطاقات الذكية و الشاشات المسطحة، من أجل ذلك فقد استعملت مواد عضوية نصف ناقلة كأوليغوميرات الأنتراسين ذات الحركية العالية^[3].

المركبات العضوية أحادية البلورة تملك خواص كهربائية و ضوئية فريدة، بسبب امتلاكها لالكترونات غير متموضعة، التي تسمى بالجمل الالكترونية المترافقة. هذه المواد تُظهر استجابات ضوئية مختلفة؛ مثل الناقلية الضوئية، الكهروضوئية، التألق، و خواص أخرى. المواد التي تملك خواص بصرية لا خطية لها تأثير كبير على المعلومات، الحاسبات البصرية، و تقنية الاتصالات البصرية، و يمكن أن تستعمل لمضاعفة تواتر أشعة الليزر مرتين أو ثلاث مرات، من أجل الحصول على سرعات عالية لمعالجة البيانات. المواد العضوية البلورية المكونة من حلقات عطرية تملك خواص بصرية عالية اللاخطية، سرعة الاستجابة، و لها شكل مرن. البصريات اللاخطية لها تطبيقات واسعة في مجال الاتصالات و أدوات تخزين المعلومات البصرية^[4].

الأنتراسين هو نموذج عن المركبات العضوية الحلقية ذات البنية البلورية الجزيئية، ذلك بسبب سهولة الحصول على بلورات وحيدة من الأنتراسين عالية النقاوة و الجودة التي تسمح بإجراء العديد من الدراسات التجريبية^[5]. و هو يُظهر خواص بصرية و الكترونية فريدة^[4]. هذه الخواص البصرية و الالكترونية قد درست بشكل مفصل من طرف العديد من الباحثين^[6]، لكن الخواص المرونية للأنتراسين لم تدرس كفاية، لذلك فقد خصصنا هذا البحث لدراسة الخصائص المرونية للأنتراسين. سوف نتطرق في الفصل الأول إلى التعريف بأنصاف النواقل العضوية و أصنافها؛ ذاتية و مطعمة ، و طرق تطعيمها ، ثم نعرض خواصها الكهربائية و الضوئية.

في بداية الفصل الثاني سنحاول التعريف بمادة الأنتراسين، ثم نعرض التقنية المستخدمة في الدراسة، و المتمثلة في تقنية المجهرية الصوتية، بعد ذلك نقوم بتحديد الخواص المرونية للأنتراسين، و المتمثلة في تعيين السرعات الصوتية؛ سرعة الأمواج الطولية، وسرعة الأمواج العرضية، و سرعة نمط رايلي.

الفصل الثالث خصص لدراسة الوسائط الفيزيائية المؤثرة في منحنيات التبدد للأنتراسين، في البداية سوف نقوم بدراسة تبدد نمط رايلي في حالة تصلب المسند و حالة تحميل المسند للبنية أنتراسين\مسند، وذلك من أجل مسند من التيفلون PTFE و مسند من SiO_2 ، ثم نقوم بدراسة تبدد النمط الطولي للبنية أنتراسين\مسند، باستخدام من SiO_2 و مسند من النحاس. بعد ذلك سنقوم بدراسة دراسة العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي؛ تأثير التواتر، تأثير كثافة المادة ، تأثير سمك الطبقة، ثم تأثير كثافة المسند على فعالية نمط رايلي للبنية طبقة/مسند.

في ختام هذه الأطروحة لخصنا النتائج المتوصل إليها في الإستنتاجات العامة.

الفصل الأول

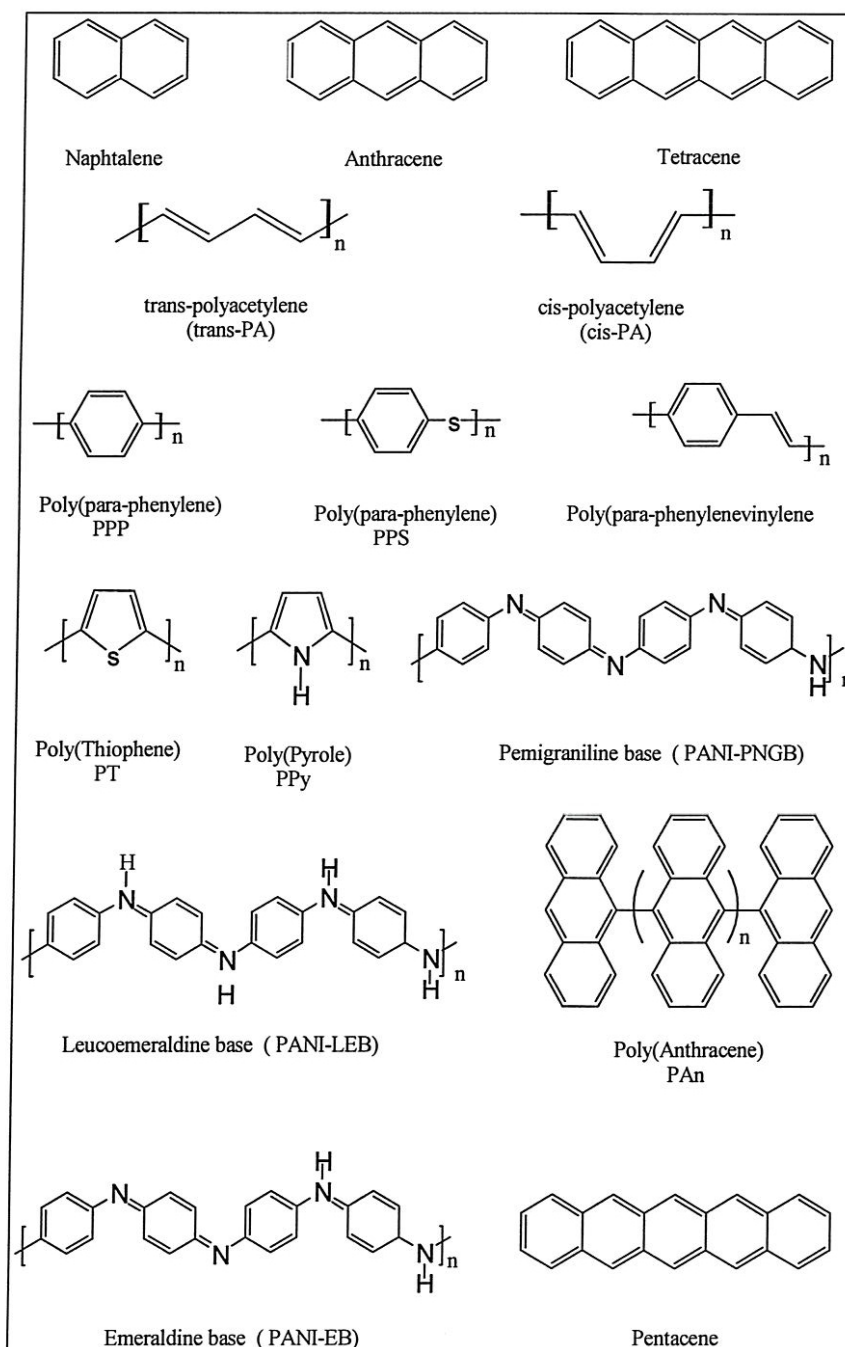
أنصاف النواقل العضوية و خواصها الكهربائية و الضوئية

1-1 أنصاف النواقل العضوية

تتكون المواد العضوية نصف الناقلة من تناوب للروابط الكربونية الفردية (من نوع σ) والمضاعفة (من نوع π)، حيث تحافظ الرابطة σ على تناسق التركيب البنائي للجزيء، أما الرابطة π فتعطي عدم تموضع الإلكترونات على امتداد الجزيء، حيث يؤدي تداخل مدارات π إلى حدوث ترافق بين هذه المدارات، فتصبح الإلكترونات غير متموضعة، بل تتراوح على طول منطقة الترافق. لذلك تسمى هذه الجمل، بالجمل المترفقة، أو "مترافقة المدارات π ". وتنقسم إلى قسمين: أنصاف نواقل عضوية ذاتية، و أنصاف نواقل عضوية مطعمة.

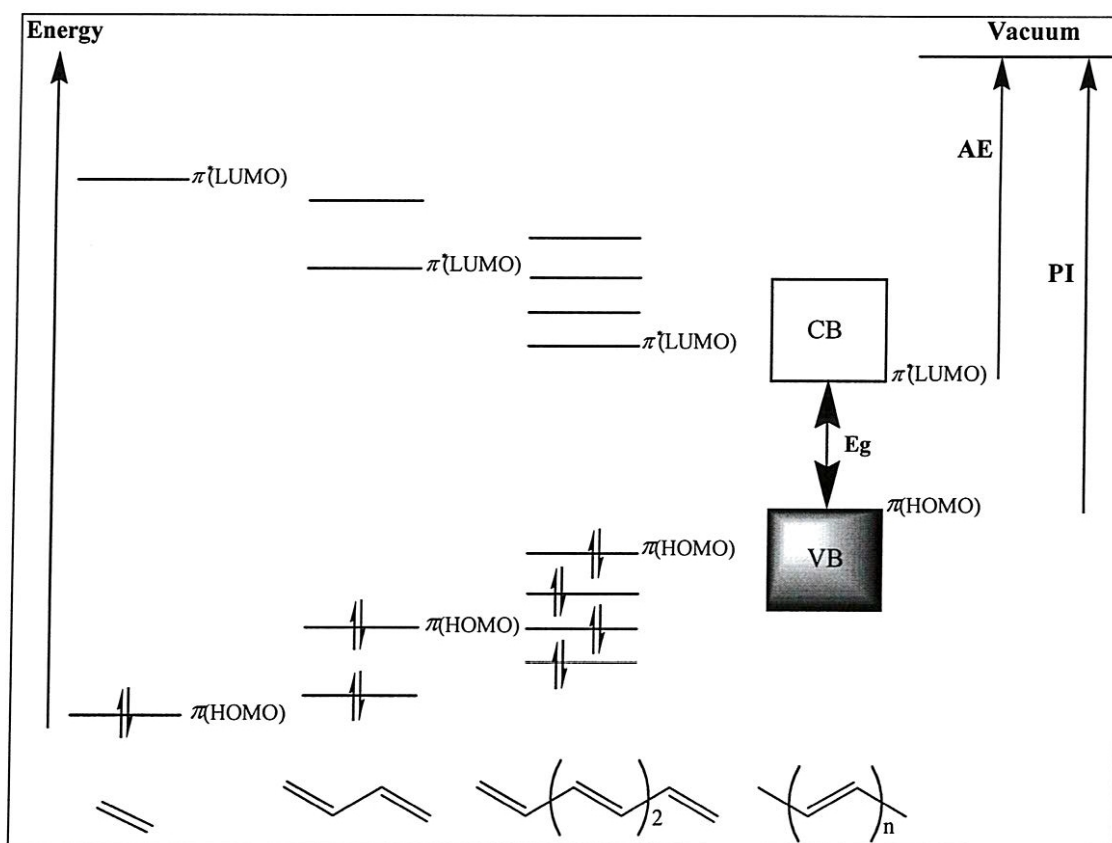
1-1-1 أنصاف النواقل العضوية الذاتية

بالنسبة لتركيبها الكيميائي فهي عبارة عن مركبات جزيئية ذات بنية بلورية مثل الأنتراسين، التيتراسين، و البنزاسين ، أو عبارة عن بوليميرات عضوية مثل البولي ثيوفان PT، البولي أنتراسين Pan، و البولي أسيتيلين PA، كما هو موضح الشكل (1-1) الذي يلخص التراكيب الكيميائية لبعض المركبات العضوية نصف الناقلة.



الشكل (1-1): التراكيب الكيميائية لبعض المركبات العضوية نصف الناقلة

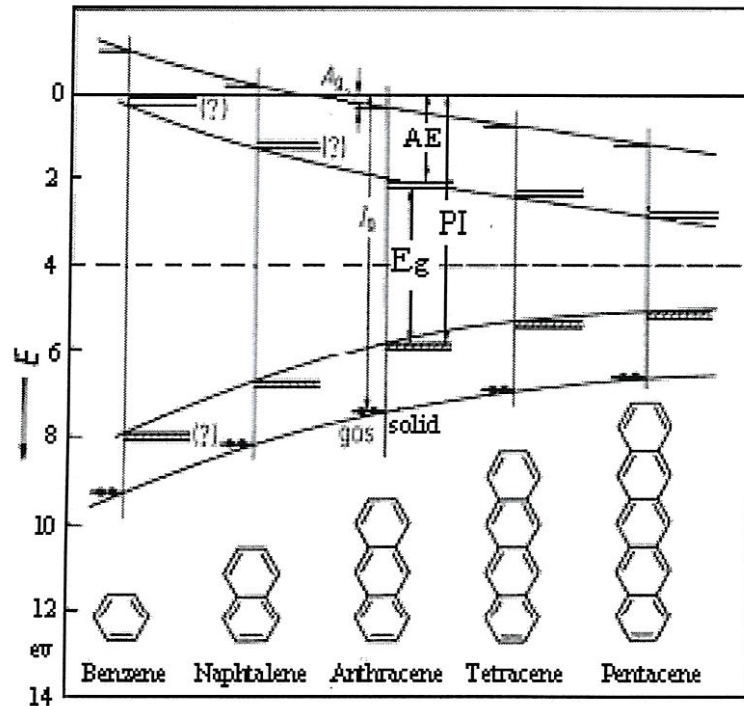
بالنسبة لتركيبها الإلكتروني فإن مستويات المدارات الجزيئية، للجزيئات العملاقة، تعتمد على طولها الفعّال (طول الجزء المترافق)، أي على عدد الوحدات الأساسية المكررة، كما هو موضح في الشكل (2-1)، فكلما زاد عدد الوحدات الأساسية المكررة يزداد عدد المستويات التي تقترب من بعضها أكثر فأكثر، و عندما يصبح عدد الوحدات المتكررة كبيراً فإنه يصبح من غير الممكن تمييز المستويات عن بعضها، و نحصل على عصابات للطاقة، عصابة تكافؤ VB، مكونة من تجمع مستويات HOMO (أعلى مستويات جزيئية مملوءة)، وتكون مملوءة عند الصفر المطلق، و عصابة نقل CB، مكونة من تجمع مستويات LUMO (أدنى مستويات جزيئية فارغة)، و تكون فارغة عند الصفر المطلق.



الشكل (2-1): مخطط المدارات الجزيئية .

المنطقة المحصورة بين عصابة التكافؤ و عصابة النقل تسمى فاصل الطاقة التي عرضها E_g ، وهي لا تحتوي على أي مستوي مسموح للطاقة، و يمكن وصفها كذلك بأنها الفرق بين كمون التأين PI (الطاقة اللازمة لنزع إلكترون من HOMO)، و الألفة الإلكترونية AE (الطاقة اللازمة لإخراج إلكترون من

(LUMO). و الشكل (3-1) الموالي يبين قيم عصابة الطاقة لمركبات الأسين الجزيئية (البنزين، النفثالين، الأنتراسين، التيتراسين، و البنتناسين)، حيث نلاحظ تناقص E_g بزيادة عدد الحلقات المكونة للجزيء.



الشكل (3-1): عصابة الطاقة للأنتراسين و جزيئات الأسين الأخرى [1].

2-1-1 أنصاف النواقل العضوية المطعمة

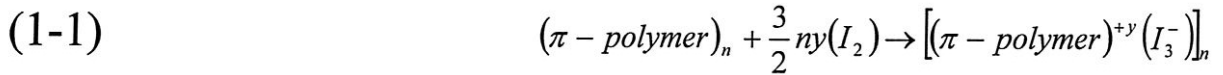
يمكن زيادة ناقلية المواد العضوية بواسطة التطعيم، حتى تصبح قريبة من ناقلية المعادن، و تسمى في هذه الحالة، بالمواد العضوية الناقلة، وهي بصفة عامة عبارة عن بوليميرات مطعمة (البوليميرات الناقلة).

إن تطعيم المركبات العضوية يختلف تماما عن تطعيم أنصاف النواقل التقليدية، اللاعضوية. فإذا كان تطعيم أنصاف النواقل اللاعضوية يتمثل في إدخال ذرات مانحة (تطعيم من نوع n)، أو ذرات آخذة (تطعيم من نوع p) إلى المادة نصف الناقلة، فإن تطعيم البوليميرات الناقلة هو عبارة عن تفاعل أكسدة-ارجاعية حقيقي للبوليمر، و هو عكوس و يُتحكم فيه بسهولة، و يمكن انجازه بعدة طرق، نذكر منها:

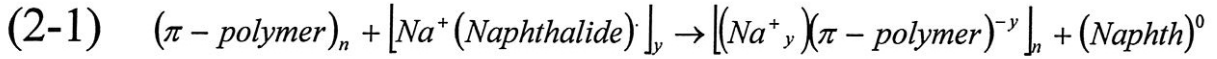
1-2-1-1 التطعيم الكيميائي بنقل الشحنة

الاكتشاف الأول لإمكانية تطعيم بوليمر مترافق، متداخل مع كيمياء الأكسدة الإرجاعية لحاملات الشحنة: فالأكسدة تمثل تطعيم من نوع p و الإرجاع يمثل تطعيم من نوع n، كما هو موضح بالأمثلة التالية [2]:

- تطعيم من نوع p



- تطعيم من نوع n



عندما يكون مستوى التطعيم عالٍ بما فيه الكفاية، يتطور التركيب الإلكتروني إلى التركيب الإلكتروني للمعدن.

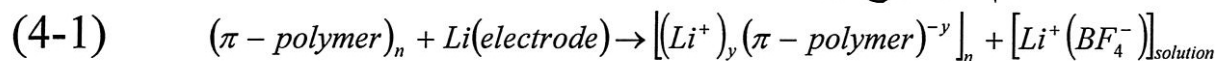
2-2-1-1 التطعيم الكهروكيميائي

بالرغم من أن التطعيم الكيميائي (نقل الشحنة) عملية فعالة وبسيطة، فمن الصعب التحكم فيها، فمحاولة الحصول على مستويات تطعيم متوسطة تؤدي في أغلب الأحيان إلى تطعيم غير متجانس. و لحل هذه المشكلة اخترع التطعيم الكهروكيميائي. في التطعيم الكهروكيميائي، يزود القطب الكهربائي، البوليمر الناقل بشحنة الأكسدة-الإرجاعية، بينما تنتشر الأيونات داخل أو خارج بنية البوليمر من الكهروليت المجاور لتعويض الشحنة الإلكترونية. إن مستوى التطعيم يحدّد بالتوتر الكهربائي بين البوليمر الناقل و القطب الكهربائي المقابل؛ عند التوازن الكهروكيميائي. هكذا فإن الحصول على أي مستوى من التطعيم يمكن أن يُنجز بوضع الخلية الكهروكيميائية تحت توتر كهربائي ثابت و انتظار وصول النظام إلى حالة التوازن الكهروكيميائي (يصبح التيار الكهربائي في الخلية معدوم). الأمثلة الآتية توضح التطعيم الكهروكيميائي [3]:

- تطعيم من نوع p

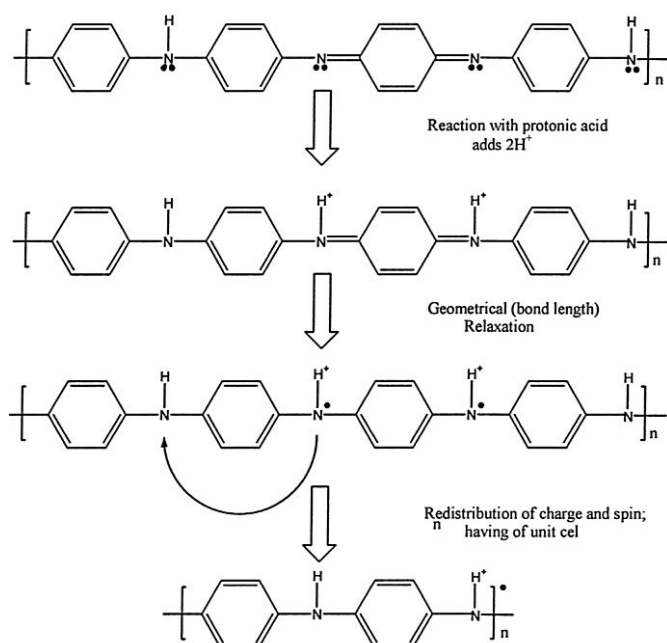


- تطعيم من نوع n



3-2-1-1 التطعيم بكيمياء الأحماض و الأسس

يوفر البولي أنيلين المثال النموذجي على آلية التطعيم المتميزة كيميائياً. فالتفاعل البروتوني لكيمياء الأحماض والأسس يؤدي إلى تفاعل أكسدة أرجاعية داخلي والتحول من شبه ناقل (أساس) إلى ناقل (ملح). حين يتحول الأساس إلى ملح، بواسطة التفاعل البروتوني، فإن آلية عدم توازن سبين البروتون المستحث تؤدي إلى تغيير هيكلي بمعدل سبين واحد غير متزوج لكل وحدة مُعادَة، لكن بدون تغيير في عدد الإلكترونات، وتكون النتيجة هي عصابة نصف مملوءة. إن التحول الملاحظ من شبه الناقل إلى ناقل وُصِفَ بشكل جيد، لكنّه غير مفهوم جيداً من وجهة نظر النظرية الأساسية، فلا توجد هناك حسابات تبين بأن الحالة المعدنية النهائية (ملح) أقل طاقة من شبه الناقل. الشكل (4-1) يوضح آلية التطعيم بالتفاعل البروتوني [4]:

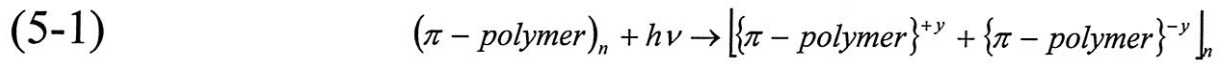


الشكل (4-1): تطعيم البولي أنيلين بواسطة التفاعل البروتوني [4].

في حالة التطعيم الكيميائي أو التطعيم الكهروكيميائي، يكون التوصيل الكهربائي المستحث دائم، حتى تعوّض حاملات الشحنة كيميائياً أو تزال عن قصد بواسطة " إزالة التطعيم " [4].

4-2-1-1 التطعيم الضوئي

البوليمر نصف الناقل يتأكسد محلياً بامتصاص الضوء و يحدث إرجاع في الجوار المحيط بواسطة فصل الشحنات (خَلْق زوج إلكترون- ثقب و الانفصال إلى حاملات شحنة حرة)، و المعادلة (5-1) توضح ذلك [5].



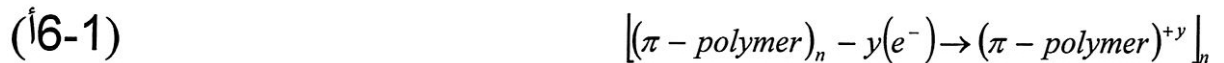
حيث أن y يمثل عدد أزواج إلكترون- ثقب.

في حالة الإثارة الضوئية، فإن الناقلية الضوئية تكون عابرة، وتدوم فقط حتى تنحصر الإثارة أو يعود الانحلال إلى الحالة الأرضية [5].

5-2-1-1 حقن الشحنة عند الوصلة معدن-بوليمر نصف ناقل

الالكترونات و الثقوب يمكن أن تحقن من الاتصالات المعدنية في الروابط π و π^* على الترتيب:

أ- حقن الثقوب في الرابطة π المملوءة عادةً:



ب- حقن الالكترونات في الرابطة π^* غير المملوءة عادةً:



في حالة حقن الشحنة في الوصلة MS ، يتأكسد البوليمر أو يرجع (تُضافُ الإلكترونات إلى الرابطة π^* أو تزال مِنْ الرابطة π). و تُستقرُّ الإلكترونات في الرابطة π^* و/ أو تُستقرُّ الثقوب في الرابطة π فقط في حالة تطبيق توتر كهربائي موجه [5].

2-1 الخواص الكهربائية

1-2-1 ناقليّة المركبات العضوية المترافقة

تَلعبُ العيوبُ الهندسية والكيميائية دوراً مهماً جداً، في تخفيضُ مدى تداخل المدرات π الإلكترونية، لذلك فإن سلسلة البوليمر يُمكن أن تُرى كسلسلة من القطع المترابطة القصيرة نسبياً و المتغيرة الأطوال. في هذه الصورة "الجزئية"، فإن الإثارات و/ أو الشحنات تكون متمركزة على مثل هذه القطع. بسبب الاختلاف في الأطوال المترافقة، تظهر مستويات طاقة، تكون متمركزة في العصابة الممنوعة للطاقة، مرتبطة بالعيوب التكوينية المستحثة الموافقة للصلوليتون، و البولرون، و البولرون المضاعف، نتيجة لهذا التمرکز فإن تلك الشحنات تتحركُ بالقفز بين المواقع على السلاسل المختلفة، فنقل الشحنة في مثل هذه الأنظمة، يكون نتيجة القفز بين السلاسل.

2-2-1 آلية النقل في أنصاف النواقل العضوية

في المواد العضوية، يختلفُ النقلُ عن نقل عصابات الطاقة لأنصاف النواقل اللاعضوية، فهو يحدثُ عن طريق قفز البولرونات بين حالات محددة بمساعدة الفونونات، إذ يحدثُ نقلَ الشحنة بقفز الشحنات بين مواقع محددة ثم تتفرق حاملات الشحنة في كلّ خطوة. حركية الشحنات تزداد برفع درجة الحرارة في أنصاف النواقل العضوية. طبقاً لهذا النموذج تتحركُ البولرونات الصغيرة عن طريق القفز المُنشَّط حرارياً، مما يؤدي إلى اعتماد الحركية على درجة الحرارة من أجل التنشيط الحراري البسيط، فعندما تكون درجة الحرارة ملائمة (عادة فوق 100°K) فإن طاقة تنشيط أنصاف النواقل العضوية تكون عالية، ففي هذا المجال من درجة الحرارة، فإن الحركية تتعلق بدرجة الحرارة، أما في

درجات الحرارة المنخفضة، فإن طاقة التنشيط تُخفّضُ جوهرياً وقابلية الحركة عملياً مستقلة عن درجة الحرارة أو ترتفع قابلية الحركة على نقيض المتوقع.

3-2-1 حاملات الشحنة

أثناء عمليات التطعيم، فإن إدخال الشحنات يؤدي إلى تغير موضعي في تناوب الروابط البسيطة و المضاعفة، مما يحدد حاملات الشحنة المتشكلة على السلسلة، فأشبه الجسيمات المتكونة يمكن تقسيمها إلى قسمين حسب الحالة الأساسية للبولىمر.

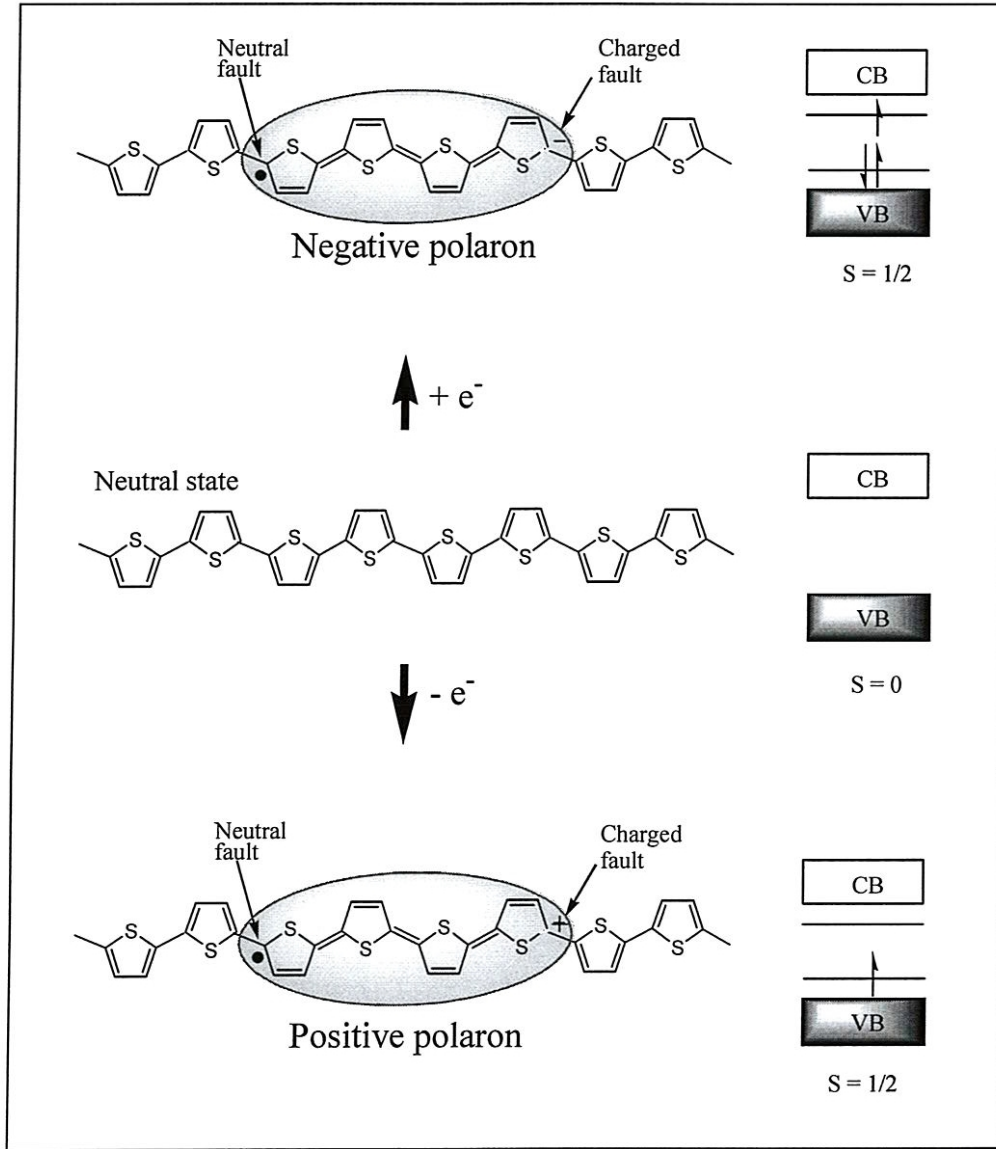
فإذا كانت الحالة الأساسية غير منحلة، تشكل بولرون أو بولرون مضاعف، و إذا كانت الحالة الأساسية منحلة تشكل صوليتون.

1-3-2-1 البولرون

البولرون هو التشوه الموضعي المصاحب لشحنة مفردة، موجبة أو سالبة، في السلسلة البوليميرية، حيث يكون متمركزا على عدد محدود من الدورات، كما هو موضح في الشكل (5-1)، وهو في نفس الوقت حامل للشحنة ($\pm e$)، و حامل للسبين ($s = \pm 1/2$).

في مخطط الطاقة، فإن التشوه المصاحب للبولىرون، يؤدي إلى ظهور مستويين للطاقة في العصابة الممنوعة: في حالة البولرون الموجب، يتشكل مستوي قريب من عصابة التكافؤ VB ، مشغول بالإلكترون واحد، ومستوي مناظر له قريب من عصابة النقل CB فارغ.

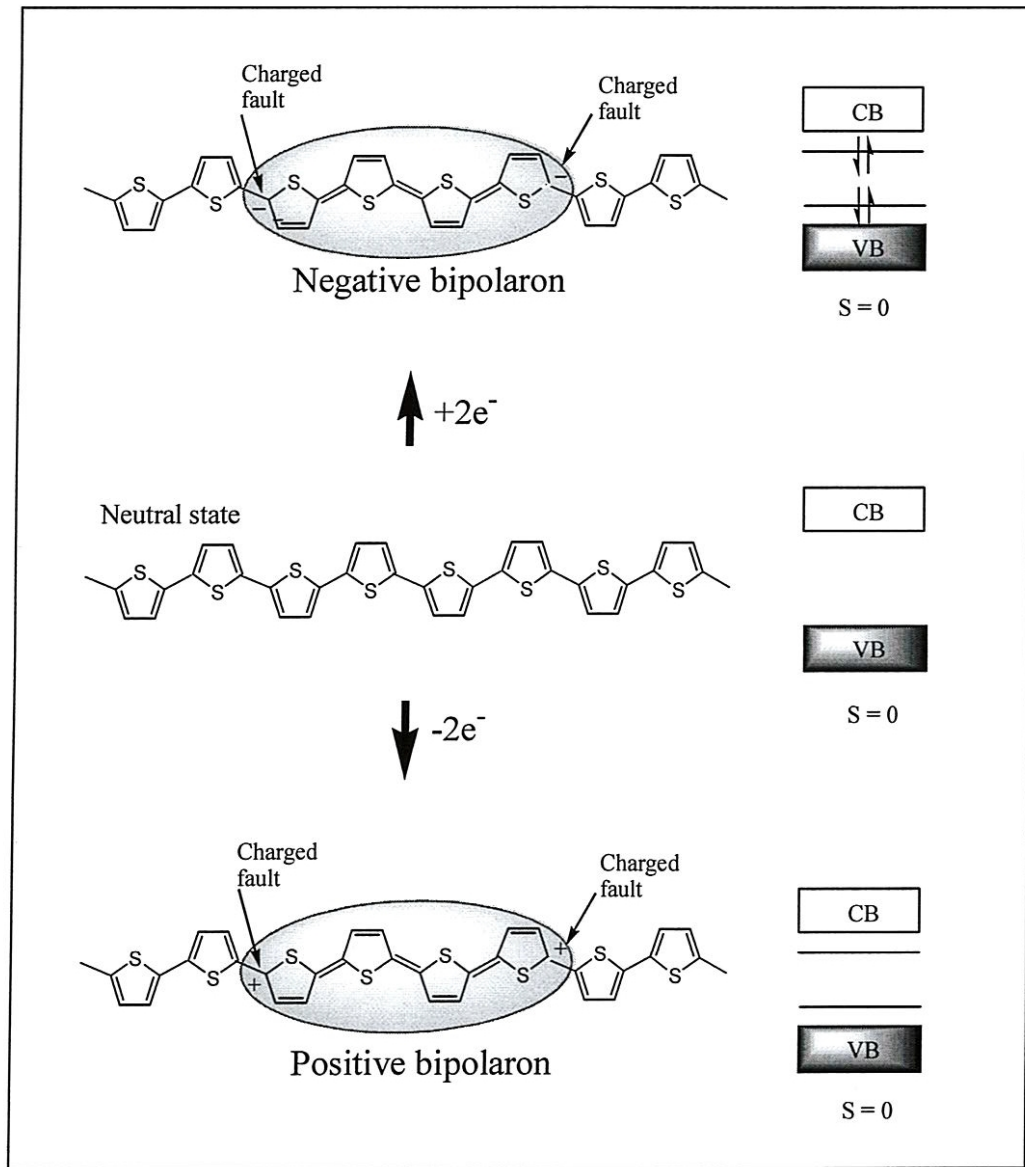
عندما يكون معدل التطعيم عالٍ، فإن شبه الجسيمات هذه ، يمكنها أن تشكل عصابة بولرونات. يساهم انتقال البولرونات داخل السلسلة أو بين السلاسل (من سلسلة إلى أخرى) في النقل الإلكتروني داخل المادة.



الشكل (5-1): آلية تشكل بولرون في البولي ثيوفان .

2-3-2-1 البولرون المضاعف

البولرون المضاعف هو شحنة مضاعفة سالبة أو موجبة، مصاحبة لتشوه موضعي في السلسلة البوليميرية، متمركز على عدد محدود من الدورات، يحمل شحنة كهربائية $(\pm 2e)$ ، وسبين معدوم ($s = 0$). عندما يكون معدل التطعيم عالي فإن شبه الجسيمات هذه، يمكنها أن تشكل عصابة بولرونات مضاعفة.

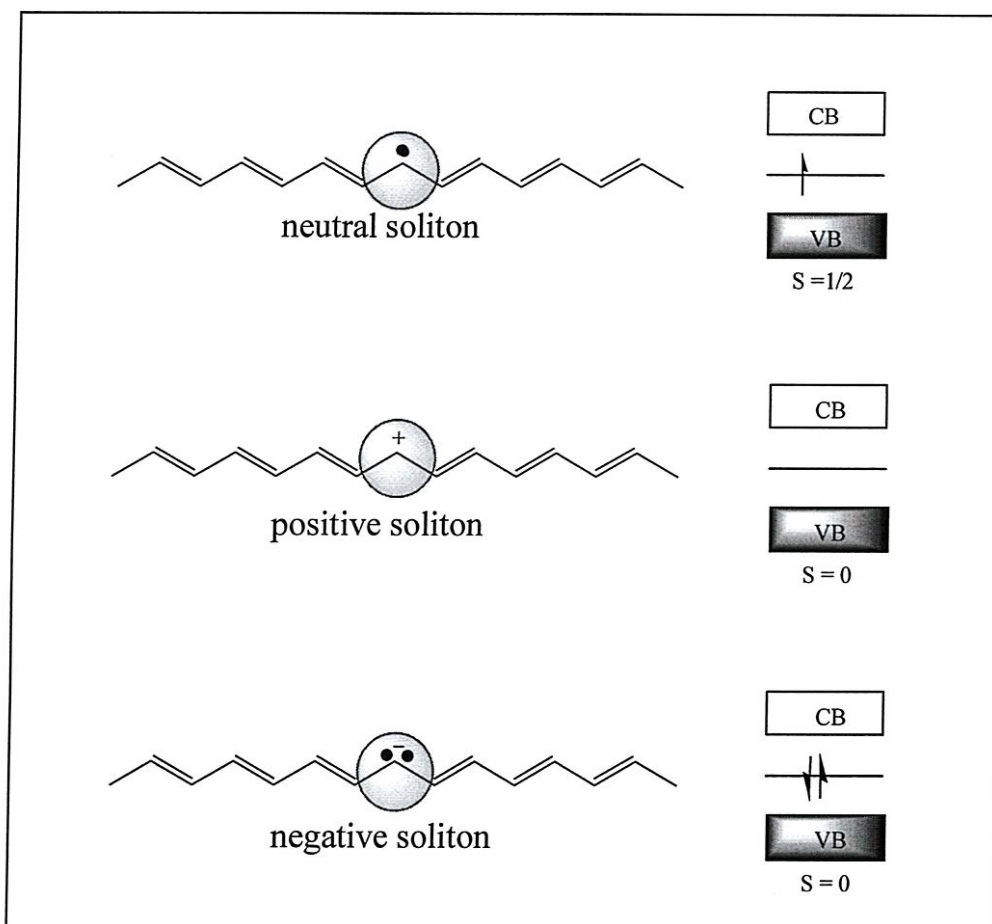


الشكل (1-6): آلية تشكل البولرون مضاعف في البولي ثيوفان .

3-3-2-1 الصوليتون

الصوليتون هو شبه جسيمة تظهر عند تطعيم الجمل ذات الحالات الأساسية المنحلة (مثل: البولي أسيتيلين المفروق) على شكل عيب في السلسلة، يقسمها إلى قسمين متسبباً في انعكاس تناوب الروابط المضاعفة و الفردية في السلسلة، كما هو موضح في الشكل (1-7). الصوليتون المشحون يملك شحنة ($\pm e$) ولكن له سبين معدوم ($s = 0$)، في حين أن الصوليتون المتعادل شحنته معدومة ($q = 0$) و له سبين ($s = 1/2$)، و الصوليتون يشغل مستوي طاقة في منتصف العصابة

الممنوعة. عندما يكون معدل التطعيم عال فإن الصوليتونات يمكنها أن تشكل عصابة صوليتونات. في هذه الجمل فإن الصوليتونات المشحونة تضمن النقل الإلكتروني.

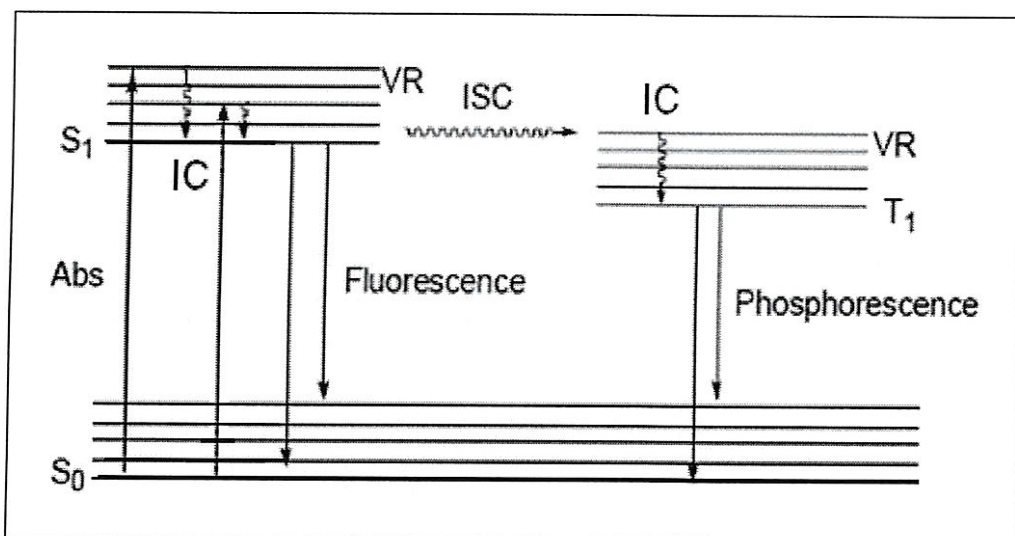


الشكل (7-1) آلية تشكل الصوليتونات البولي أسيتيلين المفروق.

3-1 الخواص الضوئية لأنصاف النواقل العضوية

عموما، الانتقالات الملاحظة في أطيف الامتصاص للمركبات المترافقة تنسب إلى الإثارة الإلكترونية من π إلى π^* ، و في حالة أطيف الانبعاث (الإصدار) من π^* إلى π . أثناء الإثارة الإلكترونية فإن العديد من الظواهر الفوتوفيزيائية المبينة في الشكل الذي يمثل مخطط جابلونسكي، يمكن أن تحدث: الفلورة، الفسفرة، الاسترخاء غير المشع. الفلورة تنتج عندما يحدث الاسترخاء

من الحالة المثارة المفردة الأولى إلى الحالة الأرضية، أما إذا حدث انتقال (عبور) بين الجمل فسوف تتشكل حالة مثارة ثلاثية التي يؤدي استرخاؤها إلى الفصفرة، و إذا لم يحدث انبعاث للضوء فإن العبور غير المشع سوف يكون هو المسيطر و تتحول الإثارة الإلكترونية إلى حركة اهتزازية أو دورانية ضمن البوليمر و في ما حولها. الفرق بين طيف الامتصاص و أعلى حد لطيف الانبعاث يسمى تغير ستوكس، وهو ينتج عندما، يحدث انبعاث من الحالة المثارة الاهتزازية الأدنى إلى المستويات الاهتزازية المختلفة من الحالة الأرضية الإلكترونية.



الشكل (8-1): مخطط جابلونسكي. Abs = امتصاص ، VR = استرخاء اهتزازي،
ISC = انتقال بين الجمل، IC = تحول داخلي، S_0 = الحالة الأرضية،
 S_1 = الحالة المثارة المفردة الأولى، T_1 = الحالة المثارة الثلاثية الأولى^[7,6].

1-3-1 حالات الإثارة المفردة والثلاثية في المركبات المترافقة

عندما يكون المركب المترافق في حالة إثارة، فإن إلكترون واحد ينتزع من أعلى مدار جزيئي مملوء HOMO (عصابة التكافؤ)، و ينتقل إلى أدنى مدار جزيئي فارغ LUMO (عصابة النقل)، فيكون كل من هذين المدارين يحتوي على إلكترون واحد. السبين النسبي لهذين الإلكترونين يحدد السبين الكلي للحالة المثارة؛ فإذا كان سبيني الإلكترونين متضادين فإن السبين الكلي للجملة يكون معدوماً، و نحصل على حالة مثارة مفردة، و إذا كان سبيني الإلكترونين متوازيين فإن

السبين الكلي للجملة المثارة يساوي واحد، و نحصل على حالة مثارة ثلاثية الانحلال.

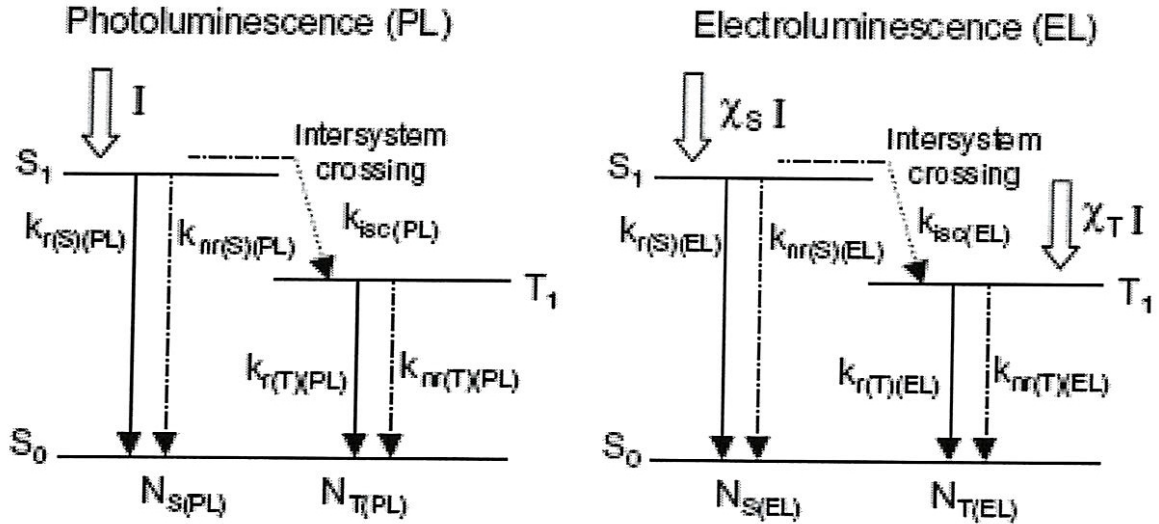
الانبعاث من الحالة المثارة المفردة نحو الحالة الأرضية المفردة يكون مسموحا وتنتج عنه الفلورة، أما الانبعاث من الحالة المثارة الثلاثية نحو الحالة الأرضية المفردة فإنه يكون محرما (غير مسموح) بسبب قواعد الانتقاء للسبين . غير أن انبعاث الحالات المثارة الثلاثية يمكن أن يحدث جزئيا بسبب الاضطرابات، كالتى تنتج عن الازدواج سبين- مدار، التى تخلط الحالات المفردة و الثلاثية القريبة. مثل هذا الانبعاث من الحالات الثلاثية يسمى الفصفرة.

الحالة الثلاثية يُمكنُ أن تنتج مباشرة بالإثارة الكهربائية، أو بشكل غير مباشر، بالإثارة الضوئية كما هو ملخص في الشكل (1-9). بما أن الانتقالات البصرية بين الحالة الأرضية المفردة و الحالة المثارة الثلاثية غير مسموح لها (محرمة)، فإن الإثارة البصرية للبولىميرات المترافقة تَخْلُقُ فقط حالات إثارة مفردة، لكن بعض الحالات الثلاثية يمكن أن تحدث نتيجة الانتقال (العبور) بين الجمل من الحالات المثارة المفردة.

إن نسبة هذا للانتقال بين الجمل تخضع للطاقة النسبية لأدنى حالة مثارة مفردة S_1 ، و الحالة المثارة الثلاثية الأقرب T_n ، التى منها يمكن حصول تحول داخلي إلى أدنى حالة ثلاثية مثارة T_1 . إن الحالات الثلاثية الناتجة عن الانتقالات بين الجمل انطلاقا من S_1 هي بصورة عامة غير مشعة في البولىميرات المترافقة، مما يقلل من فعالية التآلق الضوئي PL.

بالمقارنة مع الإثارة البصرية، تتضمن عملية الإثارة الكهربائية وضع الكترونات على السلاسل البولىميرية أو نزعها منها، و يمكن لإلكترون و ثقب (بولرون موجب و بولرون سالب) على السلسلة البولىميرية أن يتحدا، و يشكلان إما حالة مفردة أو ثلاثية.

إذا تشكلت حالات مفردة و ثلاثية بنسب متساوية، فإنه من الناحية الإحصائية سوف يكون 75% من الشحنات المحقونة متواجد في الحالة الثلاثية غير المشعة، بينما 25% فقط منها تكون متواجدة في الحالة المثارة المفردة المشعة، كما أن الانتقال بين الجمل من الحالة المفردة إلى الثلاثية يمكن أن تحدث [8].



الشكل (9-1): الرسم التخطيطي الذي يوضح تشكل و اضمحلال الحالات المثارة المفردة و الثلاثية في البوليمر المترافق تحت تأثير كل من الإثارة الضوئية والكهربائية. k_r و k_{isc} تعبر عن النسب: غير المشعة، المشعة، و الانتقال بين الجمل، على الترتيب. χ_s و χ_T يشيران إلى كسور الأكسيتونات للحالات المفردة و الثلاثية المتولدة، و N يعبر على عدد الفوتونات المنبعثة [8].

2-3-1 الإكسيتونات

مفهوم الإكسيتون مستعمل في مجال أنصاف النواقل و البلورات الجزيئية. ففي حالة أنصاف النواقل غير العضوية، يعرف الإكسيتون بأنه زوج إلكترون-ثقب مرتبط بواسطة التجاذب الكولوني، حيث يكون سبين الإلكترون مضاد لسبين الثقب، ويسمى إكسيتون وانيير Wannier، و يتشكل عندما تكون طاقة الإثارة أقل قليلاً من فاصل الطاقة E_g ، فطاقة الإكسيتون أقل من طاقة الإلكترون و الثقب فيما لو كانا حرين. في البلورات الجزيئية، الإثارة الإلكترونية لجزيء واحد، تصبح متحركة، وتسمى إكسيتون فرنكل Frenkel أو إكسيتون جزيئي [9]. فالإكسيتون يمكن أن ينتقل في البلورة حاملاً طاقة الإثارة، لكنه لا ينقل الشحنة لكونه متعادل كهربائياً، و هو بالتالي لا يساهم في الناقلية الكهربائية.

إنّ مفهوم الإكسيتون في البوليميرات المترافقة معقدٌ بعض الشيء، فإذا اعتبرنا بلورة ثلاثية الأبعاد من البوليميرات، فإن الإثارات الإلكترونية على كلّ سلسلة تُصبح متحركة خلال البلورة كإكسيتون فرنكل، و من ناحية أخرى، التركيب الإلكتروني لكلّ سلسلة بوليمر يعتبر كنصف ناقل أحادي البعد، لذلك

يُمْكِنُ اعتبار الإكسيتون داخل كَلِّ سلسلة كإكسيتون وانيير. وبمعنى آخر حالة ارتباط إلكترون من عصابة النقل و ثقب من عصابة التكافؤ^[10].

هذه الإكسيتونات هي حالات الكترونية غير متموضعة، ففي حالة وجود ازدواج الإلكترون-شبكة سيكون الإكسيتون مصحوبا باسترخاء الشبكة، مما يؤدي إلى تشكيل إكسيتون-بولرون أو إكسيتون محبوس ذاتيا. في الحالة المثالية فإن مثل هذا الإكسيتون-بولرون يبقى متحركا بشكل متماسك في البلورة، لكنه عمليا يتموضع بسهولة بسبب الفوضى السكونية أو الحرارية. في أغلب الأحيان مثل هذا الإكسيتون المتموضع يستعمل ضمنا في مناقشة النتائج التجريبية مثل التآلق^[10].

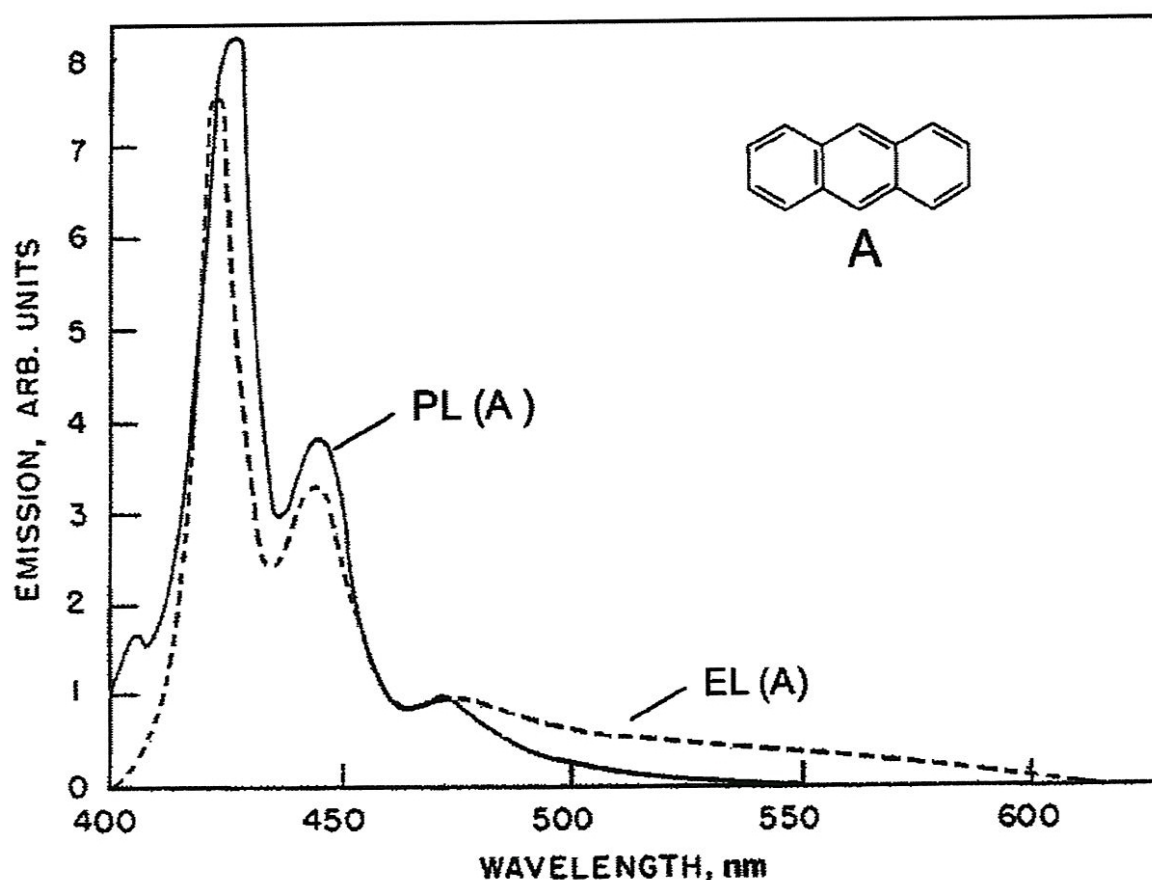
3-3-1 التآلق

عندما تمتص مادة الطاقة بشكل أو بآخر، يمكن أن تطلق جزء من هذه الطاقة، بشكل إشعاع كهرومغناطيسي مرئي أو قريب من المرئي. تدعى هذه الظاهرة بالتآلق. فعلمية التآلق تتضمن مرحلتين على الأقل: إثارة الجملة الإلكترونية للجسم الصلب، ومن ثم إصدار الفوتونات. قد تكون هاتان المرحلتان مفصولتين بعمليات متوسطة أو لا تكون مفصولة، فالإلكترون الذي يشغل نتيجة الإثارة حالة أعلى من طاقته في حالة التوازن، فسرعان ما ينتقل إلى حالة غير مشغولة ذات طاقة أخفض و خلال ذلك يمكن أن يطلق كل أو معظم الفرق في الطاقة بين هاتين الحالتين بشكل إشعاع كهرومغناطيسي.

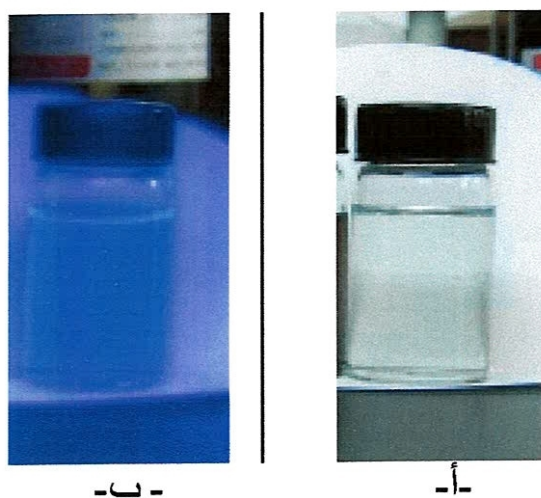
الشرط الأساسي لحدوث التآلق هو أن لا تكون الجملة في حالة توازن. يمكن إخراج الجملة من حالة توازنها بعدة طرق، نذكر منها: الإثارة بواسطة تطبيق حقل كهربائي، التي ينتج عنها التآلق الكهربائي. و الإثارة عن طريق الامتصاص الضوئي، التي ينتج عنها التآلق الضوئي.

الشكل (10-1) يمثل منحنى التآلق الكهربائي و منحنى التآلق الضوئي للأنتراسين بدلالة طول موجة الضوء المنبعث، حيث نلاحظ أعظم قيمة للإصدار سواء بالنسبة للتآلق الكهربائي أو الضوئي، واقعة في مجال الأطوال الموجية للضوء الأزرق، و هذا ما تؤكد الصورة الموضحة في الشكل (11-1) الذي يبين أن المحلول الشفاف الشكل (أ) للأنتراسين في التيترا هيدرو فيران THF، إذا عُرِضَ

للأشعة فوق البنفسجية UV ذات الطول الموجي $\lambda = 365\text{nm}$ ، فإنه يتألق بلون أزرق الشكل (ب) .



الشكل (10-1): منحنى التألق الضوئي PL و التألق الكهربائي EL للأنتراسين النقي A [11].



الشكل (11-1): أ- محلول الأنتراسين في التيترا هيدرو فيران (THF) تركيزه 30g/L [12].
ب- هذا المحلول عُرِّضَ للأشعة فوق البنفسجية UV طولها الموجي $\lambda = 365\text{nm}$.

4-3-1 الفلورة و الفسفرة

إذا حدث إصدار الضوء خلال الإثارة، و استمر أقل من 10^{-8} ثانية دعيت العملية بالفلورة. و قد اختير الزمن 10^{-8} ثانية لأنه من رتبة عمر الحالة الذرية المثارة التي تنتهي بانتقال مسموح في الجزء المرئي من الطيف. أما إذا استمر الإشعاع بعد توقف الإثارة لفترة أطول دعيت العملية بالفسفرة، التي قد تستمر من ميكروثانية إلى عدة ساعات.

5-3-1 التأثيرات البصرية اللاخطية

تطوير مواد البصريات اللاخطية، NLO، شكّل واحدا من أحدث وأكثر الفروع المثيرة للبحث من بين حقول الدراسة. تهتم البصريات اللاخطية أساسا بتفاعل حقول الترددات البصرية الكهرومغناطيسية مع المواد، مما يؤدي إلى تعديل الطور، التردد، أو خصائص الانتشار الأخرى للضوء الساقط. البعض من أهم التجسيديات الأكثر إثارة للبصريات اللاخطية من الدرجة الثانية، يتضمن جيل التوافقية الثانية الذي يتمثل في مضاعفة تردد الضوء الساقط؛ مزج الترددات، حيث عندما يسقط شعاعين ضوئيين فإن تردديهما إما يضافان إلى بعضهما البعض أو يطرحان من بعضهما؛ و التأثيرات الكهروضوئية، المتمثلة في دوران الاستقطاب و تغيير السعة و التردد. بالنسبة للبصريات اللاخطية من الدرجة الثالثة، تتضمن ثلاثة فوتونات ساقطة، و تحدث تأثيرات مماثلة.

اكتشفت التأثيرات البصرية اللاخطية في المواد العضوية و اللاعضوية، و في البوليميرات. إن الشرط الأساسي لحدوث نشاط البصريات اللاخطية من الدرجة الثانية هو عدم وجود مركز انعكاس، الذي ينتج أساسا من عدم تناظر الجزيئات. أما بالنسبة لحدوث نشاط التأثيرات البصرية اللاخطية من الدرجة الثالثة فلا يشترط وجود اللاتناظر.

عندما يخضع بوليمر لحقل كهربائي جيبي شديد، مثل ذلك الذي تسببه نبضة ليزر حادة، فإن تحليل فورييه لاستجابة الاستقطاب تبين وجود ليس فقط حدود في التردد الأصلي ω ، لكن أيضا وجود حدود في 2ω و 3ω . تعتمد شدة الاستجابة

اللاخطية على مربع شدة الشعاع الساقط بالنسبة لـ 2ω ، وعلى مكعب شدة الشعاع الساقط بالنسبة لـ 3ω ^[13].

المواد التي تملك خواص بصرية لا خطية لها تأثير كبير على المعلومات، الحاسبات البصرية، و تقنية الاتصالات البصرية، و يمكن أن تستعمل لمضاعفة تواتر أشعة الليزر مرتين أو ثلاث مرات، من أجل الحصول على سرعات عالية لمعالجة البيانات ^[14].

الفصل الثاني

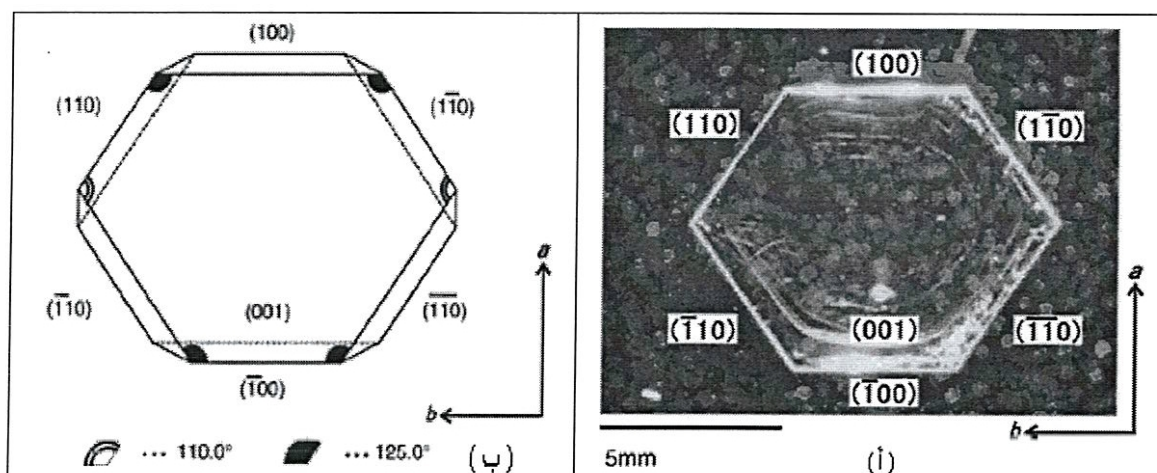
دراسة الخصائص المرونية للأنتراسين

تعتبر الخصائص المرونية للمواد، ذات أهمية بالغة للعديد من التطبيقات. وهي تتمثل في معاملات المرونة (معامل يونغ E ، القص G ، الانضغاط الحجمي K ، بواسون ν)، ثوابت الصلابة المرونية C_{ij} ، و سرعات انتشار الأمواج...، يتم تعيين هذه الخوص بطرق ستاتيكية هدامة و طرق ديناميكية غير متلفة^[1]. في هذا الفصل سنبحث كيفية تعيين سرعات انتشار النمط الطولي V_L ، و النمط العرضي V_T ، و نمط رايلي لمادة الأنتراسين؛ الذي يعتبر نموذجاً عن أنصاف النواقل العضوية، ذات الجزيئات مترافقة المدارات π -^[2]. وهو عبارة عن مادة متألقة ضوئياً، و متألقة كهربائياً، و هو من النواقل الضوئية^[3].

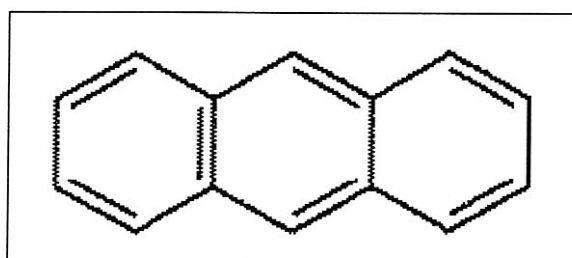
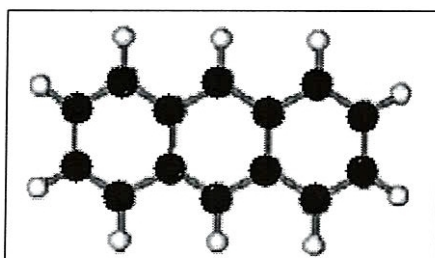
1-2 التعريف بالأنتراسين

الأنتراسين هو مركب عضوي نصف ناقل؛ صلب شفاف، كما هو مبين في الشكل (1-2) الذي يوضح بلورة أنتراسين شفافة قطرها 10 mm، مع مستوياتها

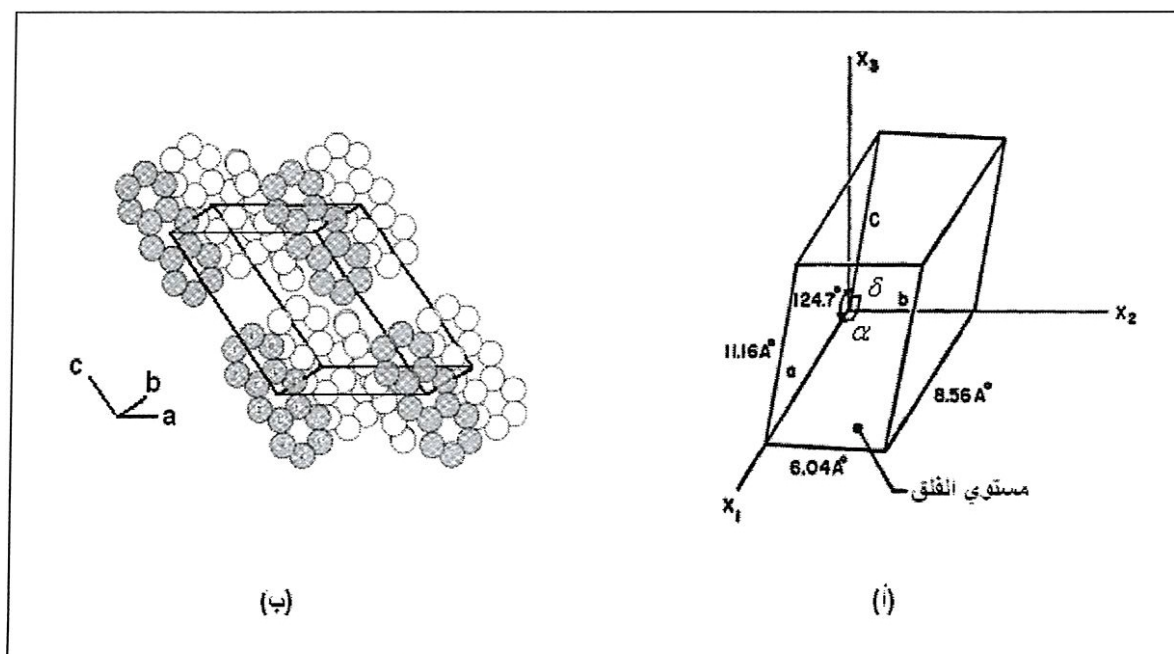
البلورية^[4]. صيغته الكيميائية $C_{14}H_{10}$ ، له بنية جزيئية مكونة من ثلاث حلقات بنزينية كما هو موضح في الشكل (2-2). يتميز الأنتراسين ببنية بلورية جزيئية أحادية الميل^[6,5]، له خلية وحدة حجمها حوالي 0.4742 nm^3 ، تحتوي على جزيئي أنتراسين، و على 188 إلكترون. أبعادها $a=8.56 \text{ \AA}$ ، $b=6.04 \text{ \AA}$ ، $c=11.16 \text{ \AA}$ ، $\alpha = 90^\circ$ ، $\beta = 124.7^\circ$ ، $\delta = 90^\circ$ ، و لها مستوي فلق محدد تماما هو المستوي ab ، كما هو موضح في الشكل (2-3). درجة حرارة انصهاره 218°C ^[7]، كثافته $\rho = 1250 \text{ kg/m}^3$. الأنتراسين، قابلية ذوبانه في الماء ضعيفة جدا فهي تقدر بـ 0.0438 g/m^3 عند درجة حرارة الغرفة^[8]، لكنه قليل الذوبان في الكحول، البنزين، الايثر، والكلوروفورم، CS_2 ، CCl_4 . الشكل (2-4) يبين قابلية ذوبان الأنتراسين في المذيبين الأخيرين؛ CS_2 ، CCl_4 بدلالة درجة الحرارة. حيث نلاحظ أن قابلية ذوبانه في CS_2 و CCl_4 تزداد ببطء بارتفاع درجة الحرارة^[7].



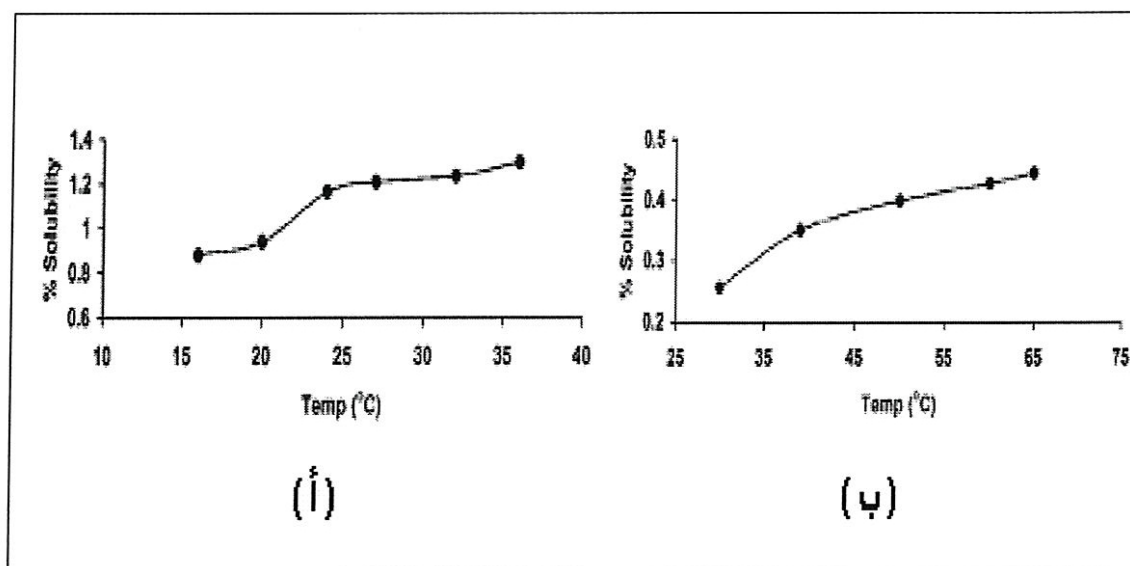
الشكل (1-2) بلورة أنتراسين قطرها 10 mm^[4]



الشكل (2-2): جزيء الأنتراسين



الشكل (3-2): أ- أبعاد الخلية الأساسية للأنتراسين [5]
 ب- مواقع جزيئات الأنتراسين في الخلية الأساسية [6]



الشكل (4-2): قابلية ذوبان الأنتراسين في: أ- CS_2 ب- CCl_4
 بدلالة درجة الحرارة [7].

2-2 تقنية المجهرية الصوتية

اعتمدنا في دراستنا على تقنية المجهرية الصوتية، غير المتلفة، و نظرا لعدم توفر الجهاز، المتمثل في المجهر الصوتي، فقد استعملنا في بحثنا نموذجا نظريا، يحاكي المجهر الصوتي الماسح SAM، و ذلك لاستنتاج خصائص مادة الأنتراسين.

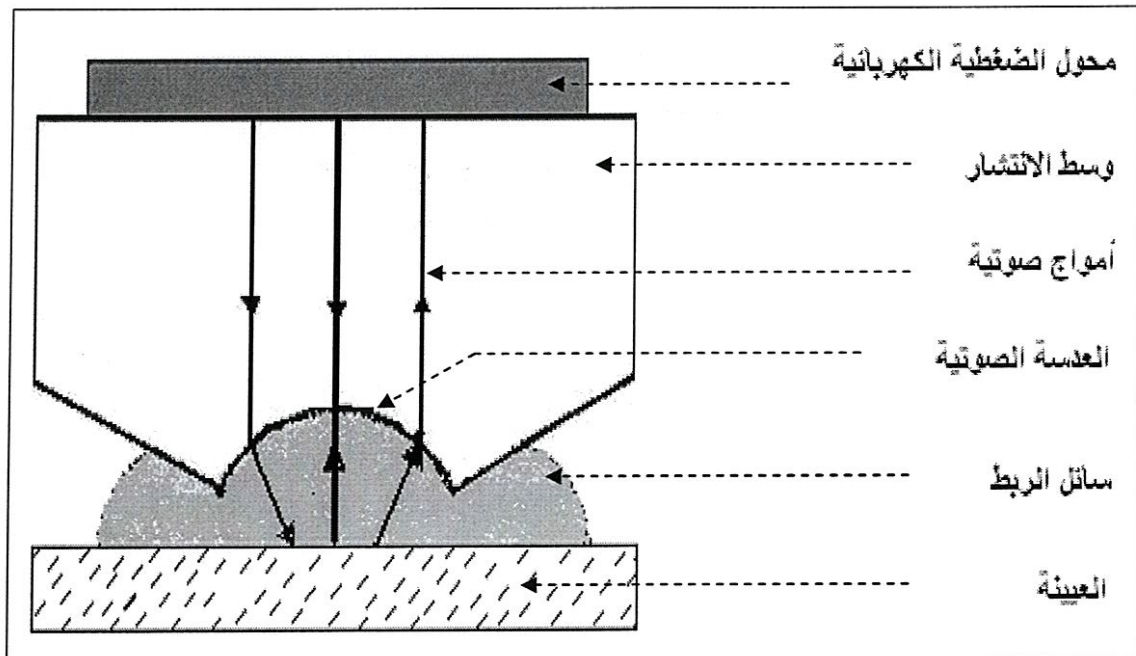
1-2-2 وسائط SAM

يتكون المجهر الصوتي الماسح (SAM)، من عدة عناصر كما هو موضح في الشكل (2-5)، يلعب كل منها دورا هاما في نوعية النتائج المتحصل عليها، من أهم هذه العناصر نذكر:

- محول الضغطية الكهربائية: هو القسم الذي يعمل على تحويل الإشارة الكهربائية إلى إشارة صوتية لها نفس التواتر، و يحول الإشارة الصوتية إلى إشارة كهربائية.
- وسط الانتشار: هو الوسط الذي تنتشر فيه الأمواج فوق الصوتية الناتجة عن محول الضغطية الكهربائية، باتجاه العدسة الصوتية، وهو عبارة عن قضيب مصنوع من الصفيير AlO_3 ، الذي تنتشر فيه الأمواج الصوتية بسرعة 11100 m/s ، وله معامل اضمحلال 0.5 dB/cm^2 ، من أجل 1 GHz [9].
- العدسة الصوتية: هي عبارة عن كاسر منحنى، مكون من وسطين مختلفين؛ تنتشر فيهما الأمواج الصوتية بسرعتين مختلفتين. و هي عبارة عن تجويف أملس محفور في نهاية قضيب الصفيير، قطرها يتراوح بين 30 ميكرون و عدة ملليمترات، حسب البعد البؤري المختار [9].
- سائل الربط: نظرا لكون الأمواج فوق الصوتية لا تنتشر في الهواء، فإنه لضمان وصولها إلى العينة يجب استعمال سائل يربط

بينها و بين وسط الانتشار(العدسة)، و هو يلعب دورا كبيرا في التحليل (الفصل)، النفاذ، و طبيعة العينة المدروسة، و بالتالي فان اختيار سائل الربط المناسب ليس دائما سهل، لكن الماء كثير الاستعمال بسبب قلة امتصاصه للصوت. بالإضافة إلى الماء، هناك بعض السوائل التي تستعمل كذلك كسوائل ربط في المجهر الصوتي؛ الزئبق، الغاليوم، الأرغون، النيتروجين، الهليوم السائل؛ كل واحد يتميز عن الماء بميزة خاصة، سواء معامل انعكاس أصغر أو سرعة صوت منخفضة^[9]. لكن سائل الربط المثالي هو الهليوم السائل، فهو عمليا لا يمتص الطاقة الصوتية و سرعة الصوت فيه، أقل بست مرات من سرعة الصوت في الماء. من حيث المبدأ، المجهر الصوتي الذي يستخدم الهليوم السائل يمكن أن تبلغ مقدرة فصله (تحليله) 50Å من أجل تواتر 100GHz ^[10].

- **العينة:** هي المادة المدروسة، قد تكون بصورة حجمية أو على شكل طبقة رقيقة موضوعة فوق مسند، أو مجموعة من الطبقات الرقيقة.



الشكل (2-5): مخطط لمجهر صوتي يعمل في نظام الانعكاس

2-2-2 مبدأ عمل SAM

برنامج التمثيل النظري SAM، يسمح لنا باختيار نوع البنية المراد دراستها؛ بنية حجمية أو طبقة رقيقة، و حساب سرعة رايلي، سرعة الأمواج الطولية و العرضية، فحساب هذه السرعات أو إحداها، يكفي فقط إدخال البيانات الآتية:

- مميزات المجموعة عدسة - محول: وتتمثل في تواتر العمل f ، وفتحة العدسة θ_{max} .
- مميزات سائل الربط: وتتمثل في كثافة السائل ρ_{liq} ، وسرعة انتشار الموجة الطولية في السائل V_{liq} .
- مميزات المسند: وتتمثل في السرعة العرضية V_{TS} ، و السرعة الطولية V_{LS} للمسند، و كثافة المسند ρ .
- مميزات الطبقة: وتتمثل في السرعة العرضية V_{TC} ، السرعة الطولية V_{LC} للطبقة، و كثافة الطبقة ρ_c ، بالإضافة إلى سمك هذه الطبقة e .

3-2-2 كيفية حساب معامل الانعكاس $R(\theta)$

معامل الانعكاس $R(\theta)$ هو دالة مركبة للخواص المرونية، للعينة المدروسة^[11]. و هو يعتمد على المتغيرات الآتية: سرعة الموجة في سائل الربط V_{liq} ، زاوية الورود θ و هي الزاوية التي يصنعها الشعاع الوارد إلى سطح العينة (داخل السائل) مع الناضم على السطح الفاصل بين السائل و الصلب، بالإضافة إلى كثافة السائل ρ_{liq} ، و سرعة الأمواج الطولية V_L و العرضية V_T ، و زاوية انكسار كل منهما θ_L ، θ_T على الترتيب، داخل الجسم الصلب الذي كثافته ρ_{sol} . و يحسب من العلاقة (1-2):

(1-2)

$$R(\theta) = \frac{Z_{sol} - Z_{liq}}{Z_{sol} + Z_{liq}}$$

حيث الممانعات الصوتية:

$$(2-2) \quad \begin{cases} Z_{liq} = \rho_{liq} V_{liq} / \cos \theta \\ Z_{sol} = Z_L \cos^2 \theta_T + Z_T \sin^2 \theta_T \\ Z_L = \rho_{sol} V_L / \cos \theta_L \\ Z_T = \rho_{sol} V_T / \cos \theta_T \end{cases}$$

Z_{liq} : الممانعة الصوتية للسائل
 Z_{sol} : الممانعة الصوتية للصلب
 Z_L : الممانعة الصوتية الطولية
 Z_T : الممانعة الصوتية العرضية

العلاقة (2-1) يمكن كتابتها كما يلي :

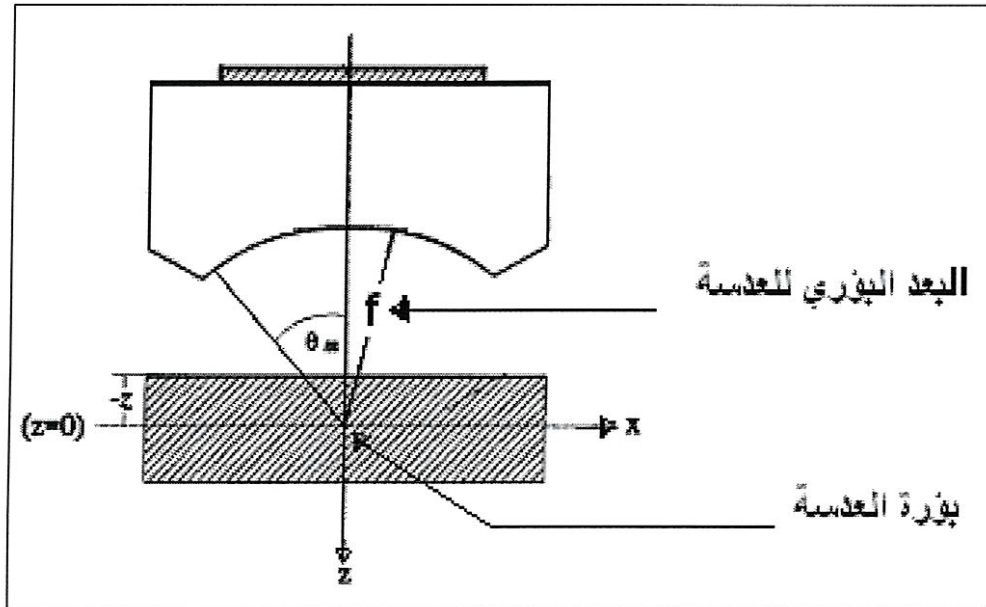
$$(3-2) \quad R(\theta) = \frac{Z_L \cos^2 \theta_T + Z_T \sin^2 \theta_T - \rho_{liq} V_{liq} / \cos \theta}{Z_L \cos^2 \theta_T + Z_T \sin^2 \theta_T + \rho_{liq} V_{liq} / \cos \theta}$$

4-2-2 كيفية حساب $V(z)$

إن الاستجابة الصوتية $V(z)$ و المعروفة بالإمضاء الصوتي، هي منحنى دوري ناتج عن التداخل البناء و الهدام، للأمواج السطحية المتولدة في العينة، والمسماة أمواج رايلي، مع الأمواج المنعكسة بشكل متناظر. و قد اقترحت عدة نماذج لتمثيل $V(z)$ ، نذكر منها: نموذج الطيف الزاوي لشيبارد- ويلسون^[13,12]، الذي استخدم فيه تحليل فورييه، و نموذج الأشعة الصوتية لبارمون- بارتوني^[14,11]. بالنسبة لنموذج الطيف الزاوي فقد تم اشتقاق عبارة $V(z)$ التي تعطى بالمعادلة (4-2) :

$$(4-2) \quad V(z) = \int_0^{\theta_m} P^2(\theta) R(\theta) \exp(2ik_{liq} Z \cos \theta) \sin \theta \cos \theta d\theta$$

حيث $p^2(\theta)$ تمثل دالة العدسة. $R(\theta)$ معامل الانعكاس ، $k_{liq} = 2\pi f / V_{liq}$ يمثل العدد الموجي، f هو التواتر، θ زاوية الورود ، θ_m فتحة العدسة، z المسافة البؤرية، انظر الشكل (2-6).



الشكل (2-6): هندسة و إحداثيات الجملة المستخدمة في نموذج الطيف الزاوي
توضح المسافة البؤرية z و فتحة العدسة θ_m

تجدر الإشارة إلى أن منحنيات $V(z)$ الناتجة، تمثل كل من استجابة العدسة $V_{len}(z)$ ، و استجابة العينة المدروسة $V_s(z)$ ، أي أن:

$$(5-2) \quad V(z) = V_{len}(z) + V_s(z)$$

يمكن استنتاج استجابة العدسة باعتبارها مماثلة للإمضاء الصوتي لمواد عاكسة (عادة الذهب). يجب اختزال استجابة العدسة، للحصول على استجابة العينة $V_s(z)$ ، التي تعبر عن الإشارة الصوتية الحقيقية للمادة المدروسة، و التي تظهر على شكل دوري ، جيبي ، متخامد.

نموذج الأشعة الصوتية لبارمون- بارتوني^[14،11]، يسمح بحساب دور الاهتزازات ΔZ في منحنى الإمضاء الصوتي $V(z)$ وفق العلاقة (6-2):

$$(6-2) \quad \Delta Z = \frac{2\pi}{2K_{liq}(1 - \cos \theta_R)} = \frac{\lambda_{liq}}{2(1 - \cos \theta_R)}$$

حيث λ_{liq} ، k_{liq} هما العدد الموجي للصوت، و طول الموجة الصوتية في السائل، على الترتيب.

كما يمكن حساب سرعة رايلي V_R ، من العلاقة:

$$(7-2) \quad \theta_R = \sin^{-1}(V_{liq} / V_R)$$

حيث θ_R هي زاوية رايلي، و هي الزاوية الحدية التي تتولد عندها أمواج رايلي السطحية.

بالتعويض في العلاقة (6-2) نجد:

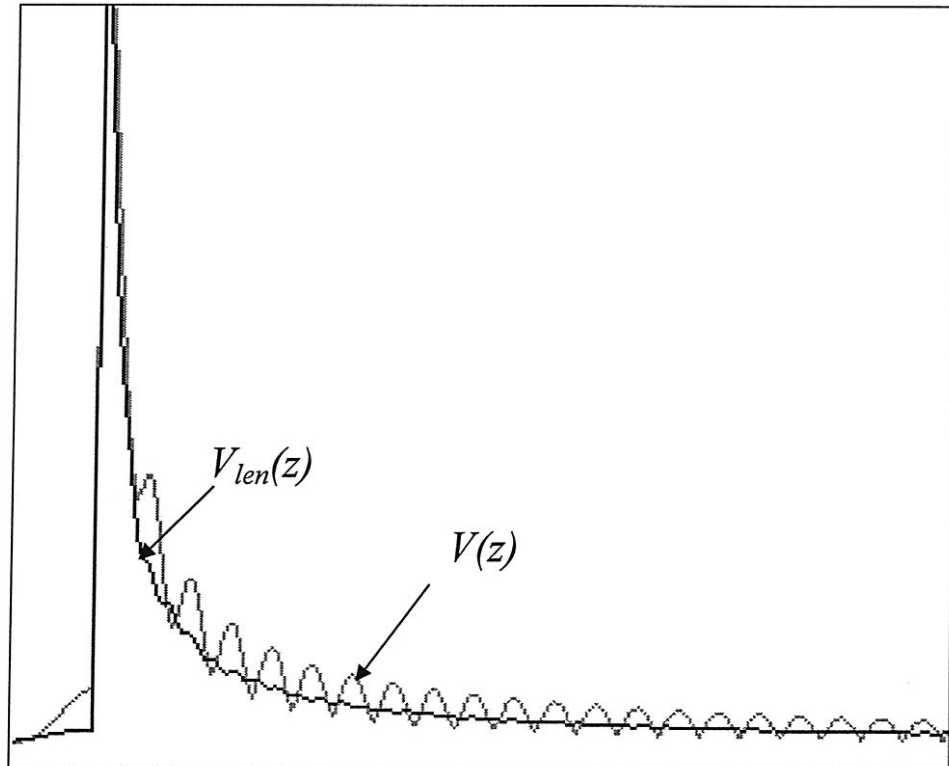
$$(8-2) \quad V_R = \frac{V_{liq}}{\left[1 - (1 - V_{liq} / 2f\Delta Z)^2\right]^{1/2}}$$

5-2-2 كيفية معالجة $V(z)$

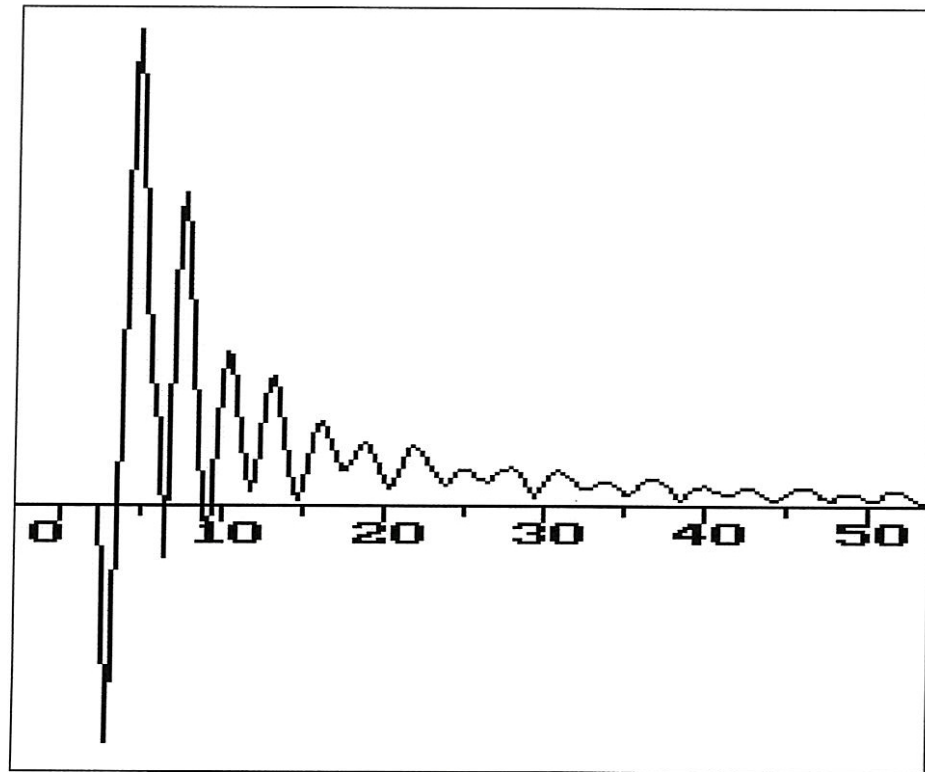
تتم معالجة $V(z)$ عبر مرحلتين؛ المرحلة الأولى، تتمثل في اختزال استجابة العدسة $V_{len}(z)$ ، أما الخطوة الثانية، فهي المعالجة الطيفية للمنحنى الممثل لاستجابة العينة المدروسة $V_s(z)$.

يمثل الشكل (7-2) الإشارة الصوتية لمادة الأنتراسين $V(z)$ ، المتحصل عليها من العلاقة (4-2)، بالإضافة إلى استجابة العدسة $V_{len}(z)$ ، و بالتالي فإن الاستجابة الحقيقية $V_s(z)$ للعيينة و التي تنتج عن اختزال استجابة العدسة $V_{len}(z)$ من $V(z)$ فيمثلها الشكل (8-2)، يعبر هذا المنحنى عن الإشارة الصوتية الحقيقية للمادة المدروسة، التي تظهر على شكل منحنى دوري، جيبي متخامد.

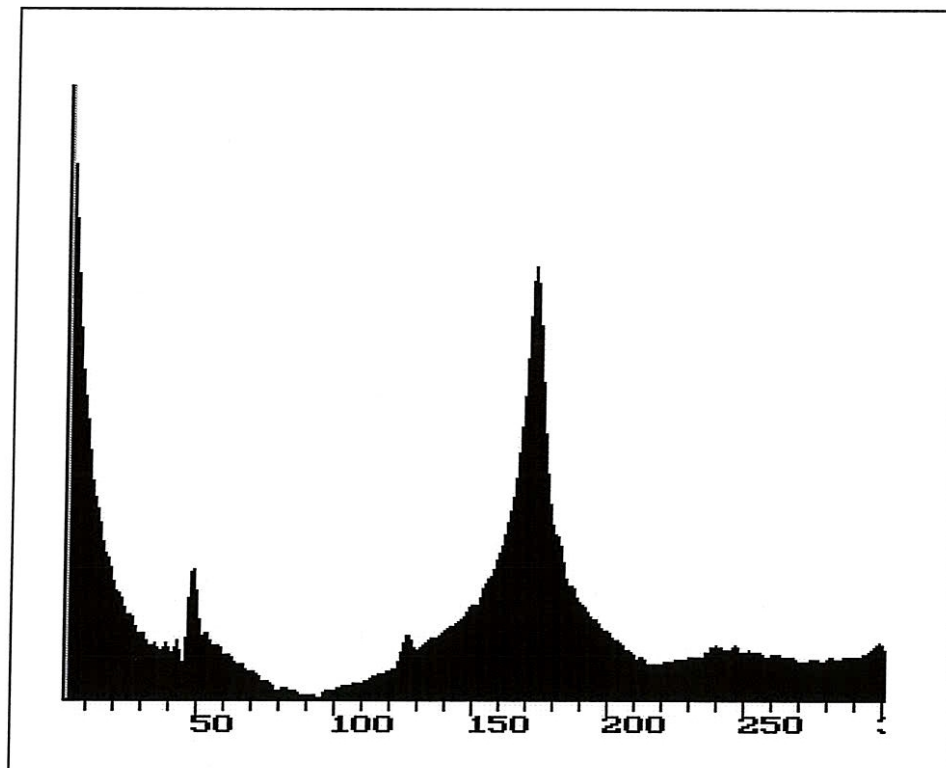
نظرا لكون الإشارة الصوتية دورية، فإنه يمكن معالجتها أو تحليلها بطريقة المعالجة الطيفية، المتمثلة في استخدام تحويل فورييه السريع FFT، و هي طريقة رقمية طيفية، تستخدم في تحليل الإشارة، حيث يعبر كل خط طيف واضح فيه، عن وجود نمط انتشار، و بالتالي يمكن استخراج دور اهتزازته ΔZ ، و بالتالي سرعة انتشار النمط الذي يمثله، باستعمال العلاقة (8-2). بالنسبة لتحويل فورييه السريع لمادة الأنتراسين فهو ممثل في الشكل (9-2)، حيث نلاحظ بروز ثلاث قمم (خطوط طيف) واضحة، مقابلة لسرعة رايلي، السرعة العرضية، والسرعة الطولية، من اليمين إلى اليسار على الترتيب.



الشكل (7-2): استجابة العدسة $V_{len}(z)$ و استجابة الجملة (عدسة+عيينة) $V(z)$ لمادة الأنتراسين



الشكل (8-2): استجابة العينة $V_s(z)$ لمادة الأنتراسين



الشكل (9-2): طيف تحويل فورييه السريع للأنتراسين

3-2 تعيين الخصائص المرونية للأنتراسين

سنبحث في هذه الفقرة كيفية تعيين الخصائص المرونية للأنتراسين، المتمثلة في حساب سرعات انتشار النمط الطولي V_L ، النمط العرضي V_T ، نمط رايلي لمادة الأنتراسين. إذ يتطلب حساب السرعتين الطولية و العرضية معرفة ثوابت الصلابة المرونية C_{ij} لمادة الأنتراسين.

1-3-2 ثوابت الصلابة المرونية

سنورد في هذه الفقرة المجموعة الكاملة لثوابت الصلابة المرونية C_{ij} للأنتراسين، التي تم قياسها من طرف مختلف الباحثين، عند درجة حرارة الغرفة (مقدرة بـ: GPa)، و التي ندونها في الجدول (1-2)، فنلاحظ أن القيم متقاربة في مختلف المراجع.

المرجع	[15]	[5]	[16]	[19]	[17]	[18]
C_{11}	8.52	7.20	8.92	9.00	7.90	9.17
C_{12}	6.72	4.00	4.63	9.80	7.30	4.10
C_{13}	5.90	3.30	4.49	7.00	5.90	5.68
C_{15}	1.92-	3.30	2.58-	0.13-	0.20-	0.73-
C_{22}	11.70	11.60	13.80	12.50	13.10	9.79
C_{23}	3.75	8.00	8.44	4.14	5.60	4.12
C_{25}	1.70-	0.0	2.59-	0.48-	1.40	3.35-
C_{33}	15.22	17.20	17.00	15.00	16.70	17.88
C_{35}	1.87-	1.60-	2.88-	1.60-	4.90-	0.51-
C_{44}	2.72	2.70	2.42	/	3.10	2.18
C_{46}	1.38	1.30	1.14	/	1.00	1.06
C_{55}	2.82	3.60	2.84	2.80	4.60	1.95
C_{66}	3.99	4.20	3.16	/	2.50	3.98
الكثافة (kg/m^3)	/	1250	/	/	/	/

الجدول (1-2): ثوابت الصلابة المرونية للأنتراسين

2-3-2 حساب سرعة انتشار النمط الطولي و العرضي

لحساب سرعة انتشار الأمواج الطولية V_L ، والعرضية V_T ، في الأنتراسين، استخدمنا العلاقات التي تربط ثوابت الصلابة المرونية C_{11} و C_{44} بالسرعتين الطولية، و العرضية على الترتيب [20]:

$$(9-2) \quad V_L = \sqrt{\frac{C_{11}}{\rho}}$$

$$(10-2) \quad V_T = \sqrt{\frac{C_{44}}{\rho}}$$

اعتمدنا في بحثنا هذا، القيم المعطاة في المرجع [11]، لحساب سرعة انتشار الأمواج الطولية V_L ، والعرضية V_T ، وذلك لأن قيمة الكثافة المستعملة في حساباتنا مأخوذة من هذا المرجع. فكانت قيم السرعات المتحصل عليها باستخدام العلاقتين (9-2) و (10-2) هي:

$$(11-2) \quad \begin{cases} V_L = 2400 \text{ m / s} \\ V_T = 1470 \text{ m / s} \end{cases}$$

3-3-2 تعيين سرعة رايلي V_R

من أجل الحصول على سرعة رايلي للأنتراسين في حالته الحجمية، استعملنا برنامج المحاكاة المذكور أعلاه، الأمر الذي تطلب تغذيته بالمعطيات اللازمة، المتمثلة في شروط العمل، أو شروط المحاكاة النظرية، وذلك لتعيين كل من $V(z)$ و $R(\theta)$.

1-3-3-2 شروط المحاكاة النظرية

تم اختيار الشروط العادية المستعملة عادة في المجهر الصوتي الماسح، التي نلخصها فيما يلي:

- فتحة العدسة: $\theta_{\max} = 50^\circ$

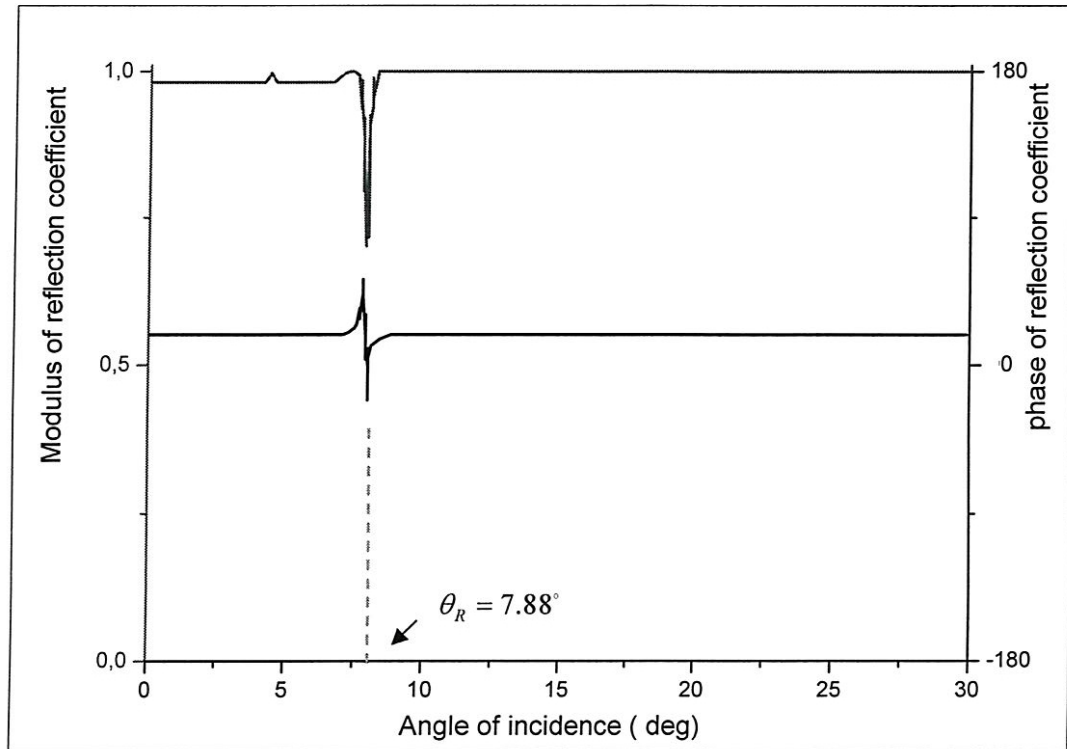
- تواتر الاهتزاز: $f = 147 \text{ MHz}$

- سائل الربط: تم اختيار سائل الربط المثالي؛ الهليوم السائل $(V_{liq} = 183 \text{ m/s}^{[21]}$ ، $\rho_{liq} = 126 \text{ Kg/m}^3)$ ، فهو عمليا لا يمتص الطاقة الصوتية. بالإضافة إلى كون سرعة الصوت فيه، أقل بكثير من سرعة أمواج رايلي في الأنتراسين، و هو الشرط الواجب تحقيقه للحصول على هذا النمط.

بعد تغذية برنامج المحاكاة بهذه المعطيات، من أجل تعيين سرعة رايلي للأنتراسين، فإننا نتبع الخطوات المحددة بتقنية المجهرية الصوتية، التي أثبتت فعاليتها في تحديد سرعة انتشار مثل هذا النمط؛ في البداية نعين $R(\theta)$ ، ثم نعين $V(z)$ ، و في الأخير نقوم بتعيين FFT الذي يسمح لنا بحساب V_R .

2-3-3-2 تعيين $R(\theta)$

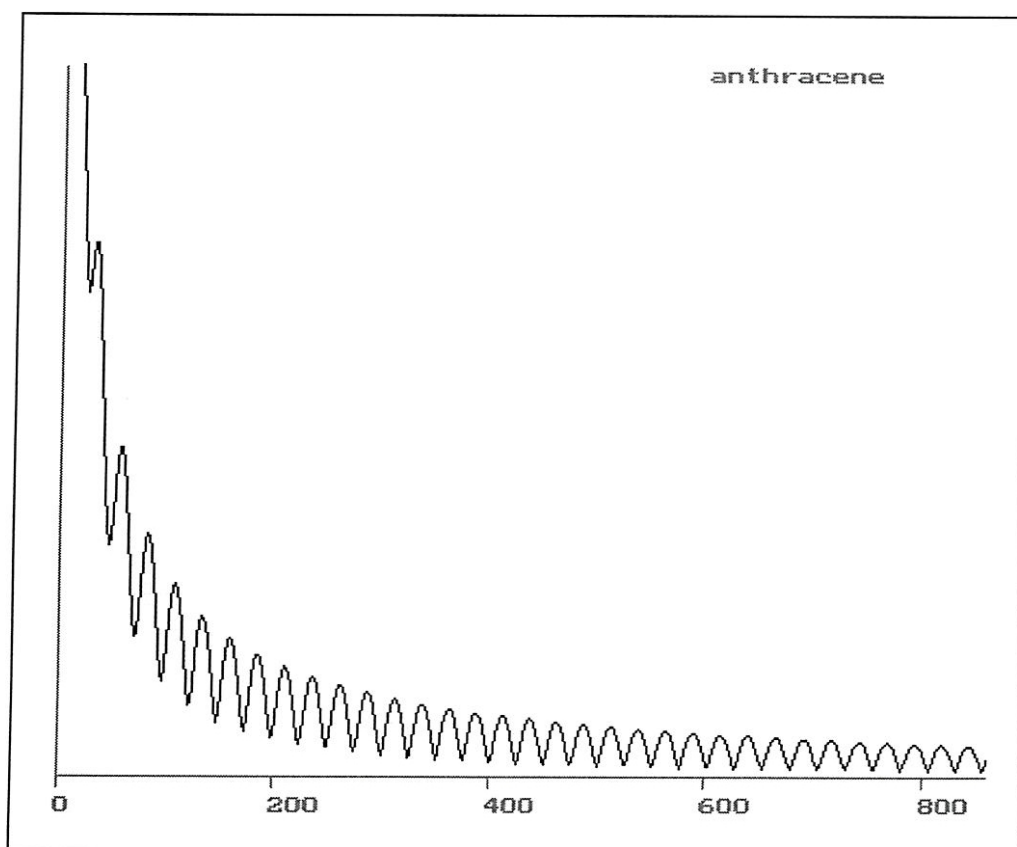
يمثل الشكل (10-2) تغير معامل الانعكاس بدلالة زاوية الورود للبنية هليوم/أنتراسين، حيث السعة ممثلة على محور الترتيب الأيسر، وفرق الطور على محور الترتيب الأيمن. فنلاحظ أن هناك تغير واضح في كل من السعة و فرق الطور، عند الزاوية $\theta_R = 7.88^\circ$ ، التي توافق الزاوية الحرجة المولدة لنمط رايلي، التي يصبح عندها الانعكاس كلياً، أما فرق الطور فيتغير بـ 2π من أجل مجال تغير صغير لزاوية الورود.



الشكل (10-2): معامل الانعكاس للأنتراسين

3-3-3-2 تعيين $V(z)$

يوضح الشكل (11-2) البيان الممثل لمنحنى الإمضاء الصوتي $V(z)$ ، لمادة الأنتراسين، المتحصل عليه من العلاقة (4-2) المدمجة في برنامج المحاكاة. فنلاحظ أن منحنى $V(z)$ مكون من إشارة اهتزازية دورية متخامدة، تتميز بوجود قيم عظمى متناوبة مع قيم دنيا، دورها Δz ، و هي القيمة التي سمحت لنا بتعيين سرعة نمط رايلي المقابلة. هذه القيم العظمى و الدنيا، هي ناتجة عن التداخل البناء و الهدام لمختلف الأنماط المرسلة إلى العينة، والمنعكسة منها، فهو إذن يعبر عن تغير كمون الخروج لمحور الضغطية الكهربائية بدلالة المسافة البؤرية z ، و التي تمثل المسافة بين سطح العينة و بؤرة العدسة ($z=0$). تحت الشروط العادية لتشغيل المجهر الصوتي تنتج هذه التداخلات عن الأمواج الطولية المنعكسة عموديا على العدسة، و الأمواج السطحية المتسربة، التي هي عادة أمواج رايلي المعممة.



الشكل (11-2): الإمضاء الصوتي للأنتراسين

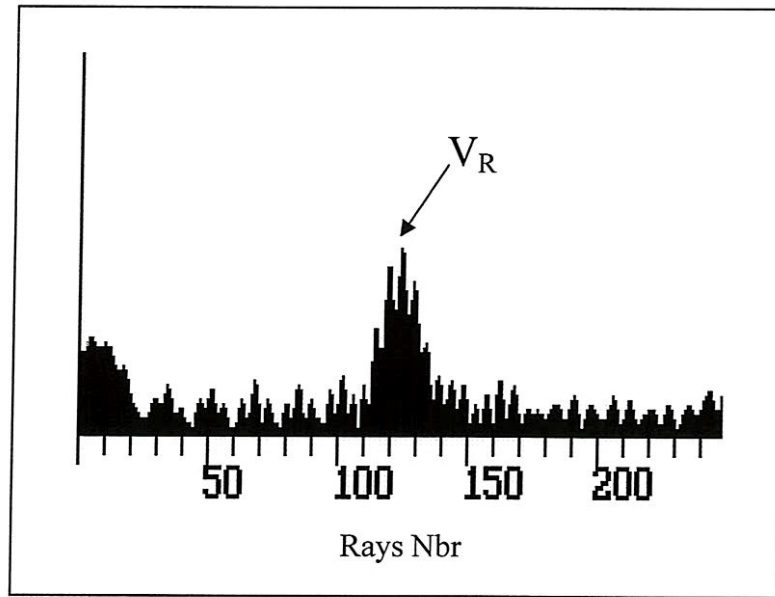
4-3-3-2 تعيين FFT

لاستخراج الدور الفضائي ΔZ للنمط المدروس، من منحنى الإمضاء الصوتي الشكل (11-2)، قمنا باختزال استجابة العدسة ثم حللنا المنحنى المتحصل عليه استخدام تحويل فورييه السريع FFT، الذي أظهر وجود طيف مركزي واحد (رقمه 124)، كما هو موضح في الشكل (12-2)، الذي يمثل نمط رايلي للأنتراسين.

باستخدام رقم خط الطيف الرئيس، استطعنا تحديد الدور الفضائي لهذا النمط $\Delta Z = 65.8 \mu m$ ، و من ثم استخراج قيمة سرعة رايلي V_R للأنتراسين، فباستخدام العلاقة (6-2)، وجدنا قيمة هذه السرعة، المعطاة بالعلاقة (12-2).

(12-2)

$$V_R = 1334 m / s$$



الشكل (2-12): التحليل الطيفي FFT لمنحنى الإمضاء الصوتي للأنتراسين

4-2 الخلاصة

بعد التعريف بمادة الأنتراسين، وبتقنية الدراسة غير المتلفة، قمنا بتعيين الخصائص المرونية للأنتراسين، فحسبنا سرعة انتشار النمط الطولي، وسرعة انتشار النمط العرضي، ثم قمنا بتعيين سرعة رايلي للأنتراسين. فكانت النتائج المتحصل عليها هي:

- سرعة انتشار النمط العرضي: $V_T = 1470 \text{ m/s}$

- سرعة انتشار النمط الطولي: $V_L = 2400 \text{ m/s}$

- سرعة انتشار نمط رايلي: $V_R = 1334 \text{ m/s}$

الفصل الثالث

الوسائط الفيزيائية المؤثرة

في

منحنيات التبدد للأنتراسين

سنهتم في بحثنا هذا بدراسة و تحليل منحنيات التبدد لنمط رايلي و النمط الطولي للأنتراسين، أي دراسة تأثير سمك الطبقة الرقيقة، على كل من سرعة أمواج رايلي المتسربة، و سرعة الأمواج الطولية، في حالتين مختلفتين من البُنى: البنية التي تكون فيها سرعة الأمواج الصوتية في الطبقة أكبر منها في المسند، و البنية التي تكون فيها سرعة الأمواج الصوتية في الطبقة أقل منها في المسند. من أجل ذلك قمنا باختيار مجموعة من المساند، ذات الخواص الصوتية المختلفة، التي سوف ترسب عليها طبقات مختلفة السمك من الأنتراسين، و ذلك باختيار سوائل ربط مناسبة. ونظرا لكون تبدد نمط رايلي و النمط الطولي يعبران عن تغير سرعة الانتشار (رايلي و الطولية) بدلالة سمك الطبقة الرقيقة e ، فقد قمنا بتغيير السمك في كل مرة، مع تثبيت باقي المتغيرات، و تسجيل قيمة السرعة. و ذلك بالاعتماد على برنامج تمثيل نظري، يحاكي مجهر صوتي ماسح (SAM)، يسمح لنا باختيار نوع البنية المراد دراستها.

كما سندرس العوامل المؤثرة على فعالية نمط رايلي، والتي نعبر عنها بطول خط الطيف الرئيسي الموافق لنمط رايلي في منحنى FFT، من أجل ذلك درسنا تأثير كل من: تواتر العمل، كثافة المادة، وسمك الطبقة المرسبة، ثم تأثير كثافة المسند، على فعالية نمط رايلي من أجل عدة بنيات.

1-3 تبدد نمط رايلي

سنبحث في هذه الفقرة تبدد سرعة رايلي بدلالة السمك المنظم - وهو النسبة بين سمك الطبقة و طول الموجة العرضية المنتشرة فيها - لطبقة الأنتراسين المرسبة، نظرياً، باستخدام برنامج المحاكاة المذكور آنفاً، من أجل مسندين مختلفين، و المتمثلين في: التيفلون PTFE و الكوارتز SiO_2 ، و ذلك من أجل دراسة ظاهرة تصلب و ظاهرة تحميل المسند على الترتيب.

1-1-3 ظاهرة تصلب المسند (أنتراسين / PTFE)

الأوساط المرنة المكونة من طبقة واحدة فوق مسند، عموماً إلى قسمين: طبقة تُصلَّب أو جملة طبقة سريعة فوق مسند بطيء، و طبقة تحميل أو جملة طبقة بطيئة فوق مسند سريع. فنقول عن طبقة أنها تُصلَّب المسند عندما يؤدي وجودها - مهما كان سمكها - إلى زيادة السرعة السطحية، إلى قيمة أعلى من قيمة سرعة رايلي للمسند، و نقول عنها أنها تُحمل المسند إذا كانت تقلل من سرعة رايلي. فقد وجد كل من Farnell و Adler، أن النسبة بين السرعة العرضية في الطبقة V_{TC} و السرعة العرضية في المسند V_{TS} ، تتحكم في نوع الظاهرة المشاهدة. فإذا كانت $V_{TC} > \sqrt{2}V_{TS}$ فهي طبقة تُصلَّب وإذا كانت $V_{TC} < \sqrt{2}V_{TS}$ فهي طبقة تحميل^[1].

1-1-1-3 تأثير السمك على $V(z)$

من أجل دراسة ظاهرة التصلب بالنسبة للأنتراسين، فقد استعملنا مسند من التيفلون ($\rho = 2140 \text{ Kg/m}^3$ ، $V_L = 1390 \text{ m/s}$ ، $V_T = 700 \text{ m/s}$ ، $V_R = 652 \text{ m/s}$)^[2]،

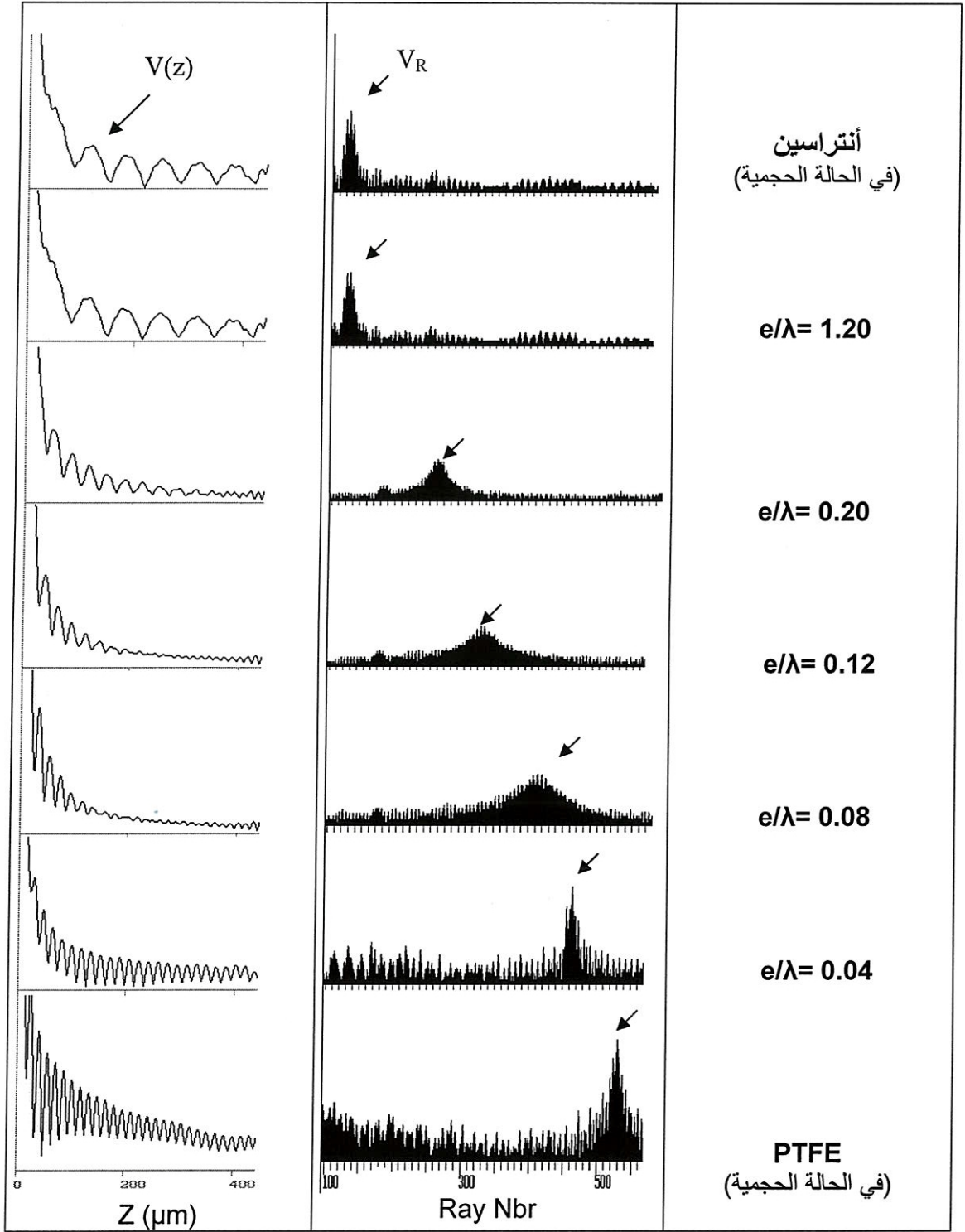
الهليوم كسائل ربط، من أجل تواتر عمل $f = 147 \text{ MHz}$ ، فتحة العدسة $\theta_m = 50^\circ$. بإتباع نفس الخطوات المذكورة سابقاً، من أجل قيم مختلفة للسّمك المنظم e/λ لطبقة الأنتراسين المرسبة، حيث e و λ يمثلان على الترتيب سمك الطبقة و طول الموجة العرضية المنتشرة فيها. تحصلنا على مجموعة منحنيات $V(z)$ و بيانات FFT الموافقة لها، الممثلة في الشكل (1-3). حيث نلاحظ انتقال خط الطيف الرئيس من الخط المقابل للتيفلون (المسند) باتجاه خط الطيف الرئيس المقابل للأنتراسين تدريجياً مع زيادة سمك طبقة الأنتراسين المرسبة، إلى أن يحل محله.

2-1-1-3 منحنى التبدد

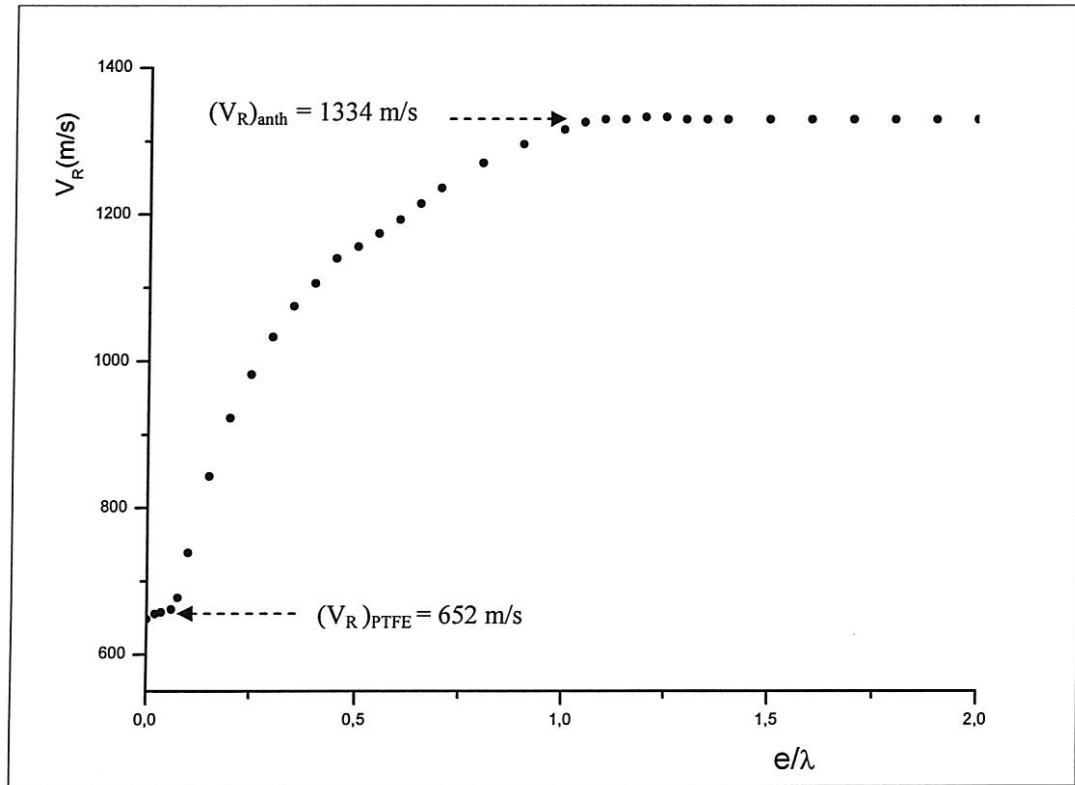
بعد حساب سرعة رايلي V_R المقابلة للقيم المختلفة للسّمك المنظم لطبقة الأنتراسين المرسبة فوق مسند التيفلون، قمنا برسم تغيرات هذه السرعة بدلالة السّمك المنظم، فتحصلنا على منحنى التبدد لسرعة رايلي المبين في الشكل (2-3)

نلاحظ أنه من أجل القيم الصغيرة للسّمك، تكون السرعة قريبة من قيمة سرعة رايلي للمسند، ثم تتزايد تدريجياً، بزيادة سمك طبقة الأنتراسين المرسبة، مبتعدة تدريجياً عن سرعة رايلي للمسند، وتقترب شيئاً فشيئاً من قيمة سرعة رايلي للأنتراسين، إلى أن تصبح مساوية لها، و ذلك من أجل قيم السّمك التي تحقق العلاقة $e/\lambda \geq 1$.

التعليق: من أجل القيم الصغيرة لسّمك الطبقة، تكون معظم طاقة أمواج رايلي كامنة في المسند، مما يجعل قيمة السرعة قريبة من سرعة المسند $V_R = 652 \text{ m/s}$ ، ثم تتوزع هذه الطاقة بين المسند والطبقة، منحازة تدريجياً إلى الطبقة، إلى أن تصبح كلها في الطبقة، وذلك من أجل قيم السّمك التي تحقق العلاقة $e/\lambda \geq 1$ ، فتصبح عندها السرعة مساوية لسرعة رايلي في مادة الأنتراسين $V_R = 1334 \text{ m/s}$.



الشكل (1-3) : التحليل الطيفي و الامضاء الصوتي لمختلف قيم السمك المنظم للبنية أنتراسين / PTFE



الشكل (2-3): منحنى تبدد سرعة رايلي للبنية أنتراسين / PTFE

2-1-3 ظاهرة تحميل المسند (أنتراسين / SiO_2)

إن ظاهرة تحميل المسند، هي الظاهرة التي تحدث عندما تكون $V_{TC} < \sqrt{2}V_{TS}$ ، وهو الشرط الذي جعلنا نختار لدراسة هذه الظاهرة بالنسبة للأنتراسين، مسند من مادة SiO_2 ($\rho = 2200 \text{ Kg/m}^3$ ، $V_L = 5970 \text{ m/s}$ ، $V_T = 5970 \text{ m/s}$ ، $V_R = 3410 \text{ m/s}$) [2]، أما سائل الربط المستعمل فهو الهليوم السائل، وتواتر العمل $f = 147 \text{ MHz}$ ، وفتحة عدسة $\theta_m = 50^\circ$.

1-2-1-3 تأثير السمك على $V(z)$

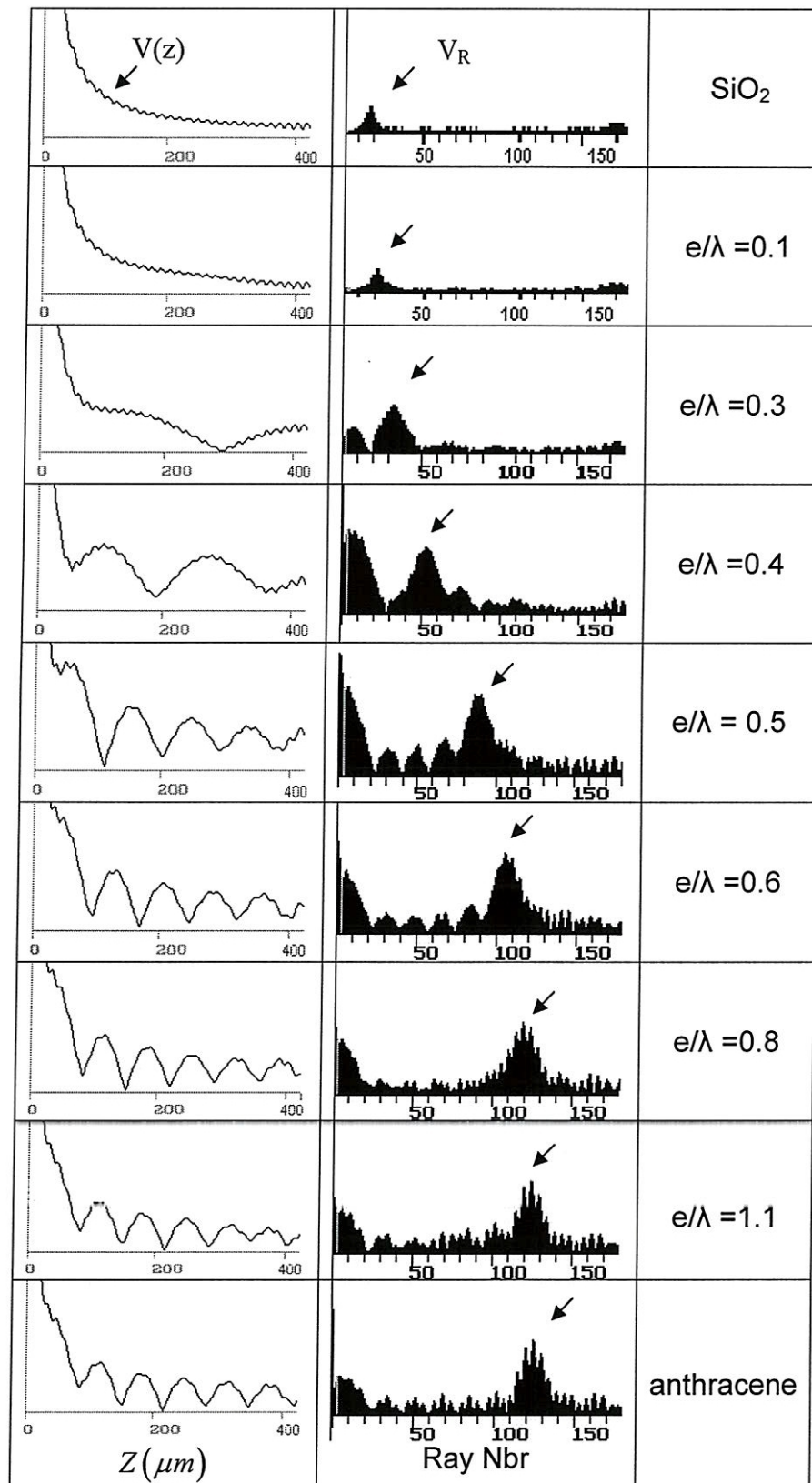
بعد تغذية برنامج المحاكاة بالمعطيات اللازمة، المتمثلة في شروط العمل المذكورة أعلاه، قمنا برسم منحنيات الإمضاء الصوتي $V(z)$ ، بالنسبة لدراسة ظاهرة تحميل المسند، من أجل قيم مختلفة للسمك المنظم لطبقة الأنتراسين المرسبة فوق مسند من SiO_2 ، فتحصلنا على مجموعة المنحنيات الموضحة في الشكل (3-3)، التي تمثل منحنيات الإمضاء الصوتي $V(z)$ و منحنيات FFT المقابلة لها. حيث نلاحظ انتقال خط الطيف الرئيس من الخط المقابل للمسند (SiO_2) باتجاه خط الطيف الرئيس المقابل للأنتراسين تدريجياً مع زيادة سمك طبقة الأنتراسين المرسبة، إلى أن يصبح مكانه.

2-2-1-3 منحنى التبدد

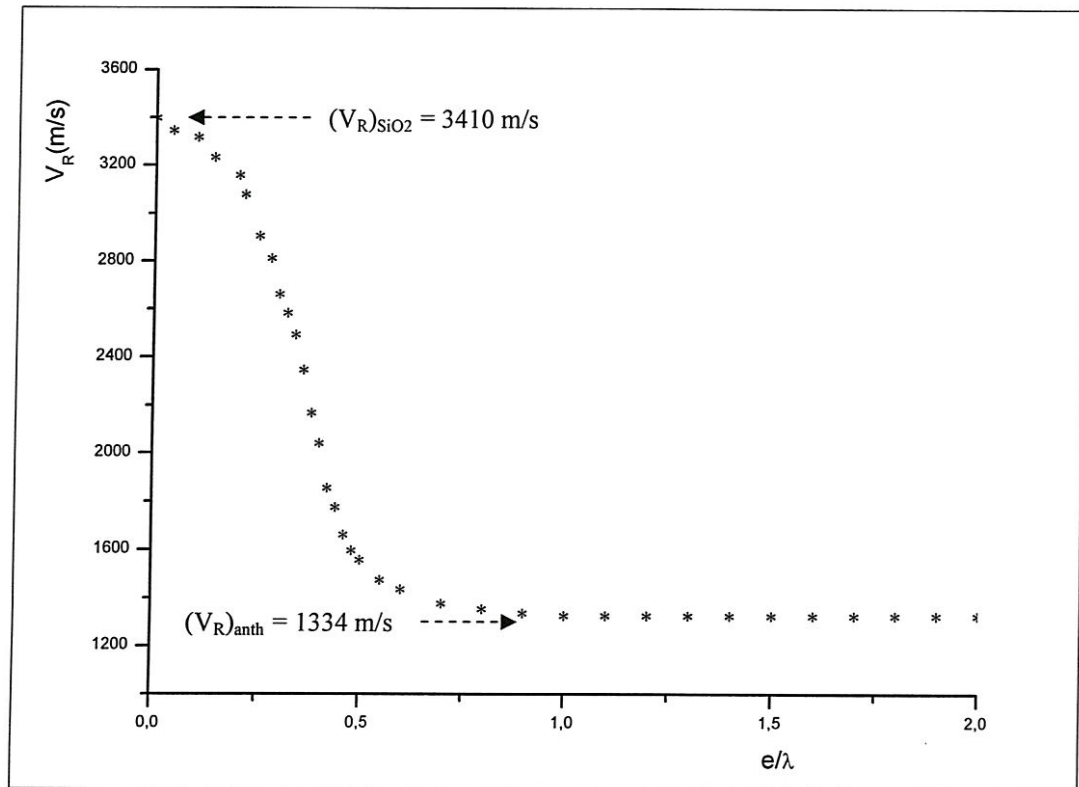
بعد حساب سرعة رايلي V_R المقابلة للقيم المختلفة للسمك المنظم لطبقة الأنتراسين المرسبة فوق مسند SiO_2 ، قمنا بتمثيل تغيرات السرعة V_R بدلالة السمك المنظم، فتحصلنا على منحنى التبدد لسرعة رايلي المبين في الشكل (4-3).

نلاحظ أنه من أجل القيم الصغيرة للسمك، تكون السرعة مساوية تقريباً لقيمة سرعة رايلي للمسند، ثم تتناقص تدريجياً، بزيادة السمك، مبتعدة عن سرعة رايلي للمسند، وتقترب أكثر فأكثر، من قيمة سرعة رايلي للطبقة (الأنتراسين)، إلى أن تصبح مساوية لها، وذلك من أجل قيم السمك التي تحقق العلاقة $e/\lambda \geq 0,9$.

التعليق: من أجل القيم الصغيرة لسمك الطبقة، تكون معظم طاقة أمواج رايلي كامنة في المسند، مما يجعل قيمة السرعة قريبة من سرعة المسند. ثم تتوزع هذه الطاقة بين المسند و الطبقة، منحازة أكثر فأكثر إلى الطبقة، إلى أن تصبح كلها في الطبقة، وذلك من أجل قيم السمك التي تحقق العلاقة $e/\lambda \geq 0,9$ ، فتصبح عندها السرعة مساوية لسرعة رايلي في الطبقة (الأنتراسين).



الشكل (3-3): التحليل الطيفي و الإمضاء الصوتي لمختلف قيم السمك المنظم للبنية أنتراسين / SiO₂



الشكل (3-4): منحنى تبدد سرعة رايلي للبنية أنتراسين/SiO₂

2-3 دراسة تبدد النمط الطولي للأنتراسين

لدراسة هذه الظاهرة بالنسبة لمادة الأنتراسين، ومن أجل إثراء هذه الموضوع، فقد استخدمنا مسندين من مادتين مختلفتين، مع تغيير سائل الربط المستعمل، وذلك من أجل تواتر عمل $f = 147 \text{ MHz}$ وفتحة عدسة $\theta_m = 50^\circ$.

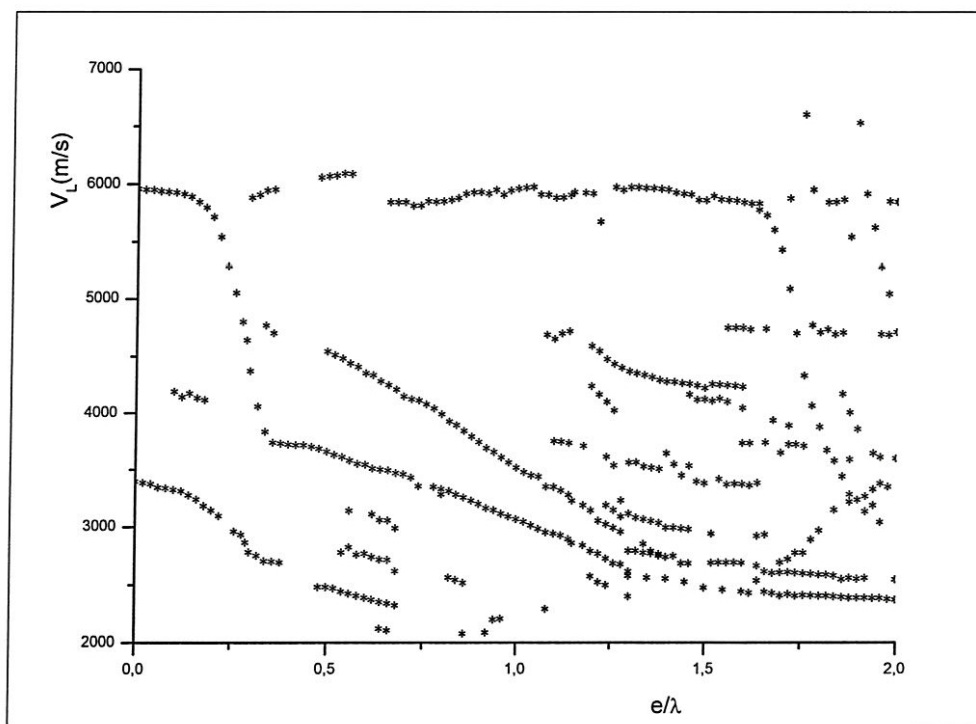
1-2-3 تبدد النمط الطولي للبنية أنتراسين/SiO₂

من أجل هذه البنية، درسنا تأثير سمك الطبقة على السرعة الطولية، باستخدام الدوتيريوم أو الماء الثقيل D₂O ($\rho = 1104 \text{ Kg/m}^3$ ، $V_L = 1400 \text{ m/s}$) [3]

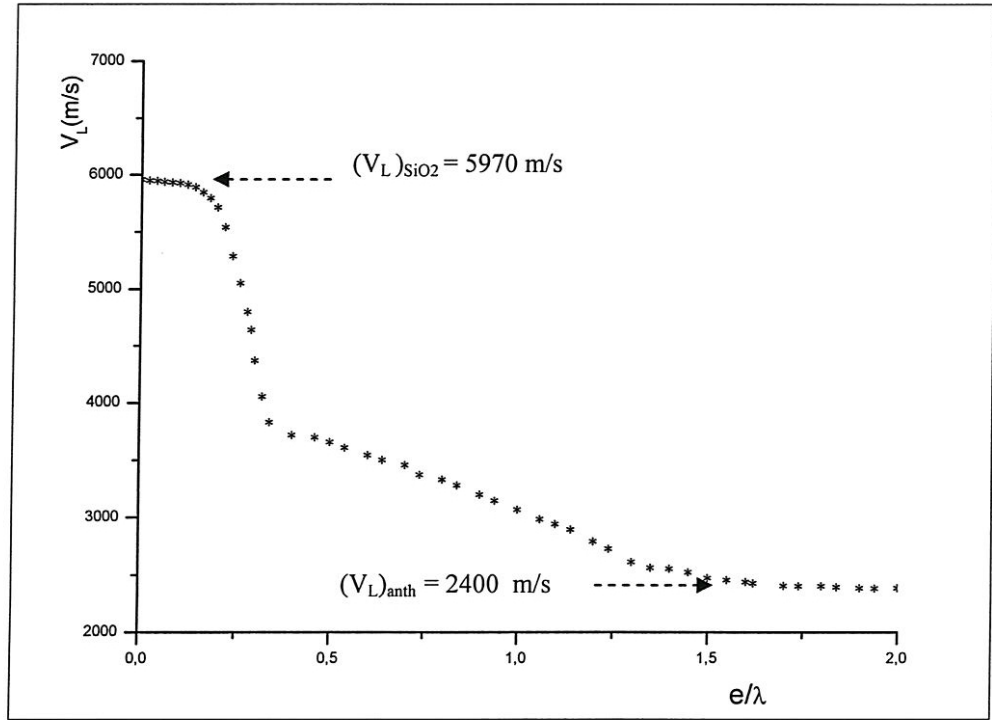
كسائل ربط. بإتباع نفس الخطوات المتبعة في دراساتنا السابقة، فقد تحصلنا على النتائج الممثلة على البيان الموضح في الشكل (3-5)، وذلك بتمثيل جميع الأنماط الظاهرة في منحنى FFT.

للحصول على منحنى التبدد الممثل للنمط الطولي ، فقد تتبعنا قيمة السرعة الطولية الناتجة، انطلاقاً من الحالة الحجمية لـ SiO_2 (أي القيمة صفر لسلك الطبقة $e/\lambda=0$)، ثم من أجل القيم الصغيرة لسلك الطبقة، فتحصلنا على البيان الممثل في الشكل (3-6).

نلاحظ أنه من أجل القيم الصغيرة للسلك، تكون السرعة مساوية تقريباً لقيمة السرعة الطولية للمسند، ثم تتناقص السرعة بحدة في المجال $0.2 \leq e/\lambda \leq 0.34$ ، مع زيادة السلك، بعد ذلك تقل حدة تناقص السرعة في المجال $0.34 \leq e/\lambda \leq 1.6$ ، مبتعدة عن السرعة الطولية للمسند، ومقتربة أكثر فأكثر، من قيمة السرعة الطولية للطبقة (الأنتراسين)، إلى أن تصبح مساوية لها، وذلك من أجل قيم السلك التي تحقق العلاقة $1.6 < e/\lambda$.



الشكل (3-5): منحنى تبدد السرعات لجميع الأنماط ، للبنية أنتراسين / SiO_2



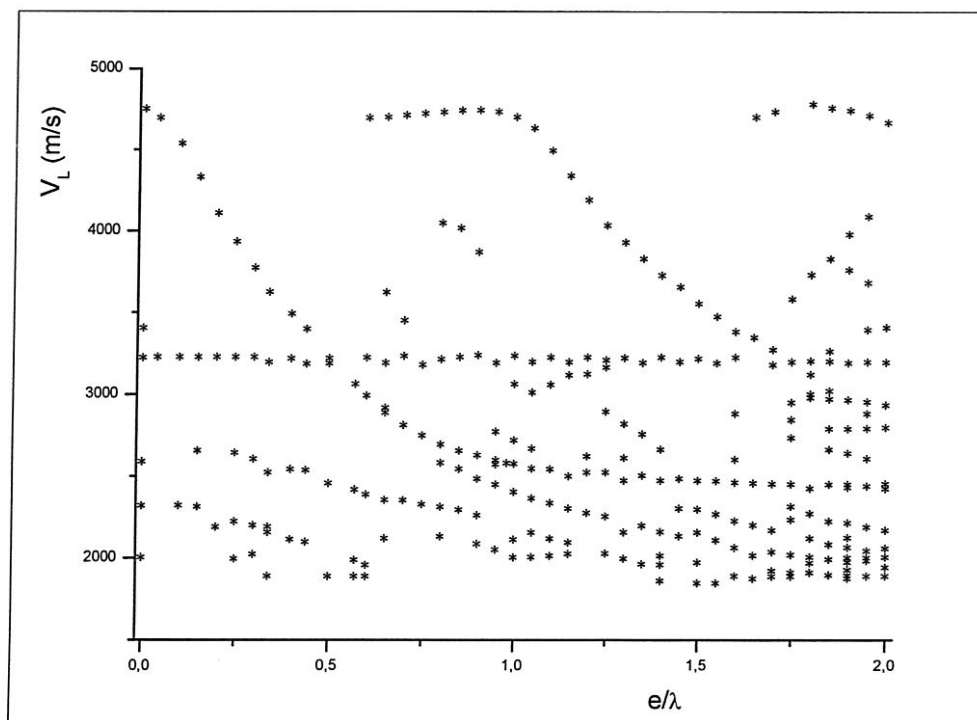
الشكل (6-3): منحنى تبدد السرعة الطولية للبنية أنتراسين/ SiO_2

2-2-3 تبدد النمط الطولي للبنية أنتراسين/ نحاس

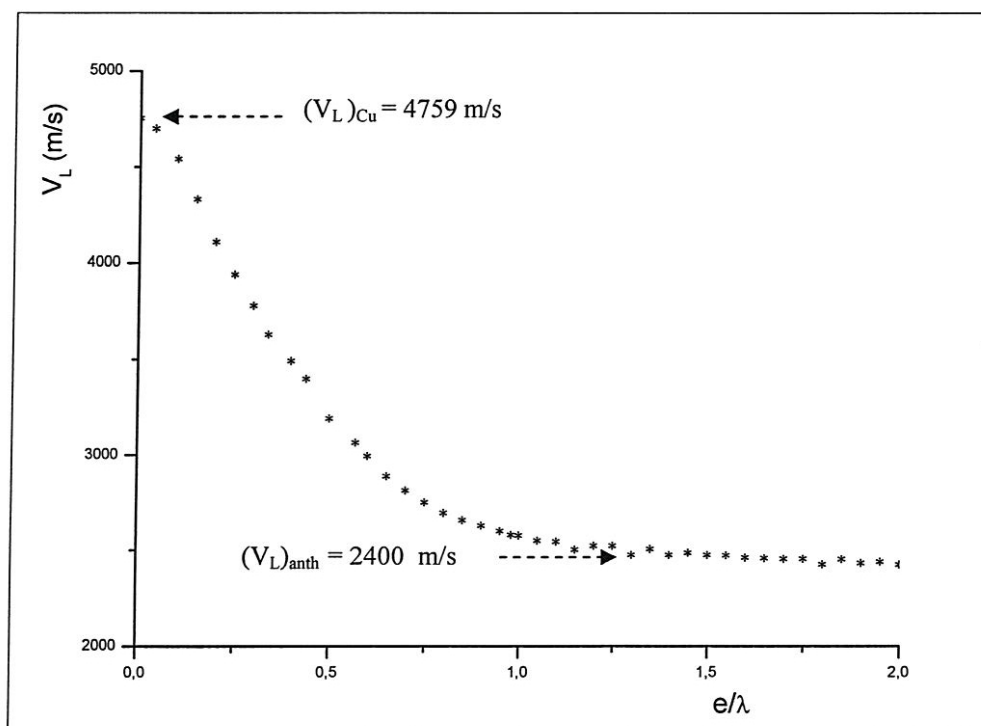
درسنا تأثير سمك طبقة الأنتراسين المرسبة على مسند من النحاس، على السرعة الطولية، باستخدام الزئبق ($\rho = 13500 \text{ Kg/m}^3$ ، $V_L = 1450 \text{ m/s}$) كسائل ربط.

اتبعنا نفس الخطوات المتبعة في دراساتنا السابقة، فتحصلنا النتائج الممثلة على البيان الموضح في الشكل (7-3)، و الذي يمثل منحنيات التبدد لجميع الأنماط، الظاهرة في منحنى FFT.

للحصول على منحنى التبدد الممثل للنمط الطولي، فقد تتبعنا قيمة السرعة الطولية الناتجة، انطلاقاً من الحالة الحجمية للنحاس (أي القيمة صفر لسمك الطبقة $e/\lambda = 0$)، ثم من أجل القيم الصغيرة لسمك الطبقة، فتحصلنا على البيان الممثل في الشكل (8-3).



الشكل (7-3): منحني تبدد السرعات لجميع الأنماط ، للبنية أنتراسين/ نحاس



الشكل (8-3): منحني تبدد السرعة الطولية ، للبنية أنتراسين/ نحاس

نلاحظ أنه من أجل القيم الصغيرة للسلك، تكون السرعة مساوية تقريبا لقيمة السرعة الطولية للمسند، ثم تتناقص السرعة تدريجيا، مع زيادة السلك، في المجال $0.1 \leq e/\lambda \leq 1.3$ ، مبتعدة عن السرعة الطولية للمسند، ومقتربة أكثر فأكثر، من قيمة السرعة الطولية للطبقة (الأنتراسين)، إلى أن تصبح مساوية لها تقريبا، و ذلك من أجل قيم السلك التي تحقق العلاقة $1.3 < e/\lambda$.

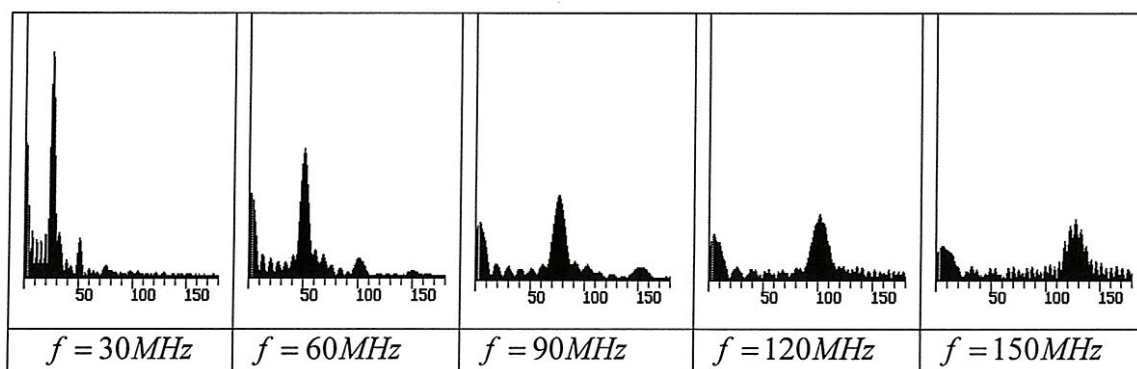
3-3 دراسة العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي

نعبر عن فعالية النمط بطول الخط الرئيس الموافق لهذا النمط في منحنى FFT^[4]. درسنا في هذه الفقرة تأثير: تواتر العمل، كثافة المادة، وسلك الطبقة المرسبة، ثم تأثير كثافة المسند، على فعالية نمط رايلي من أجل عدة بنيات.

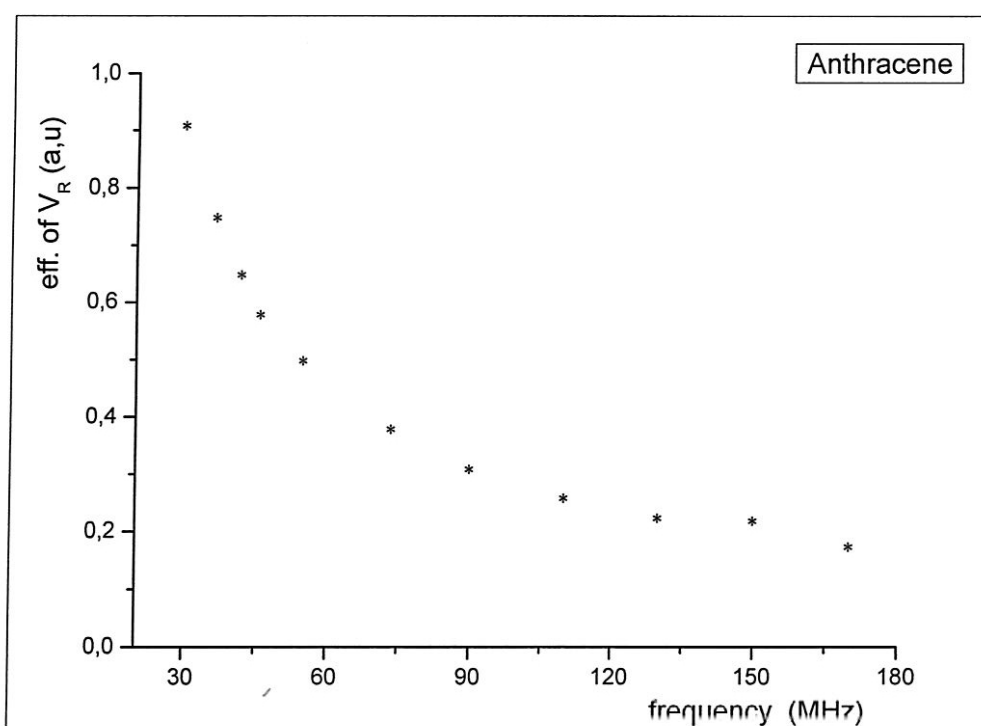
1-3-3 تأثير التواتر على فعالية نمط رايلي

باستعمال برنامج المحاكاة المستعمل في الدراسات المنجزة في الفصل السابق، قمنا بدراسة تأثير تواتر العمل، على فعالية نمط رايلي بالنسبة للأنتراسين في حالته الحجمية، و ذلك في مجال التواترات المحصورة بين 30MHz و 170MHz. الشكل (3-9) يبين منحنيات FFT المقابلة لبعض قيم التواتر في المجال المذكور، التي توضح تغير فعالية نمط رايلي (طول خط الطيف الرئيس) بتغير تواتر العمل. لتوضيح ذلك قمنا بتمثيل النتائج بيانيا فتحصلنا على البيان الموضح في الشكل (3-10).

نلاحظ أن فعالية نمط رايلي، تتناقص مع زيادة تواتر العمل المستعمل، بصورة واضحة، مما يدل على أن التواتر هو من العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي، فمن أجل الحصول على فعالية كبيرة لهذا النمط، يجب استعمال قيم صغيرة للتواتر.



الشكل (9-3) تأثير التواتر على فعالية نمط رايلي

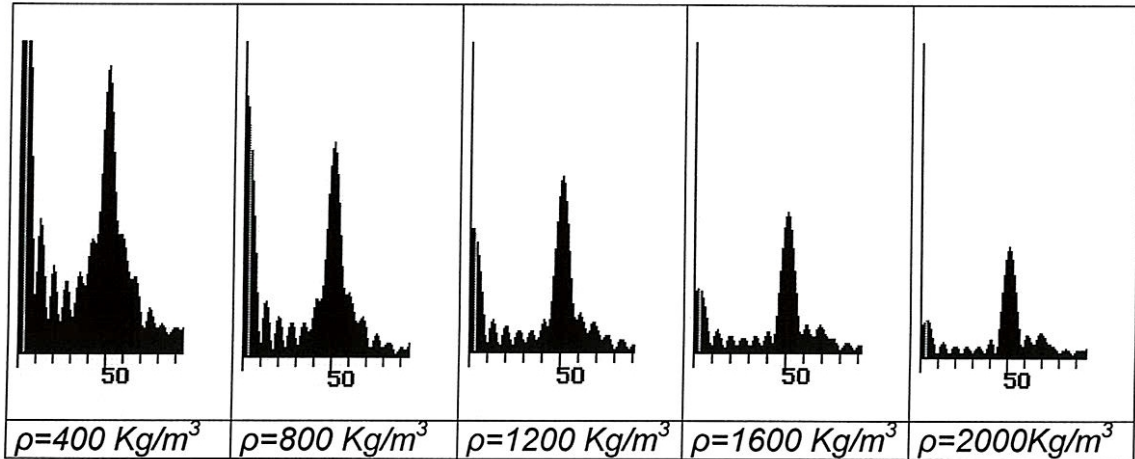


الشكل (10-3) : تأثير تواتر العمل على فعالية نمط رايلي

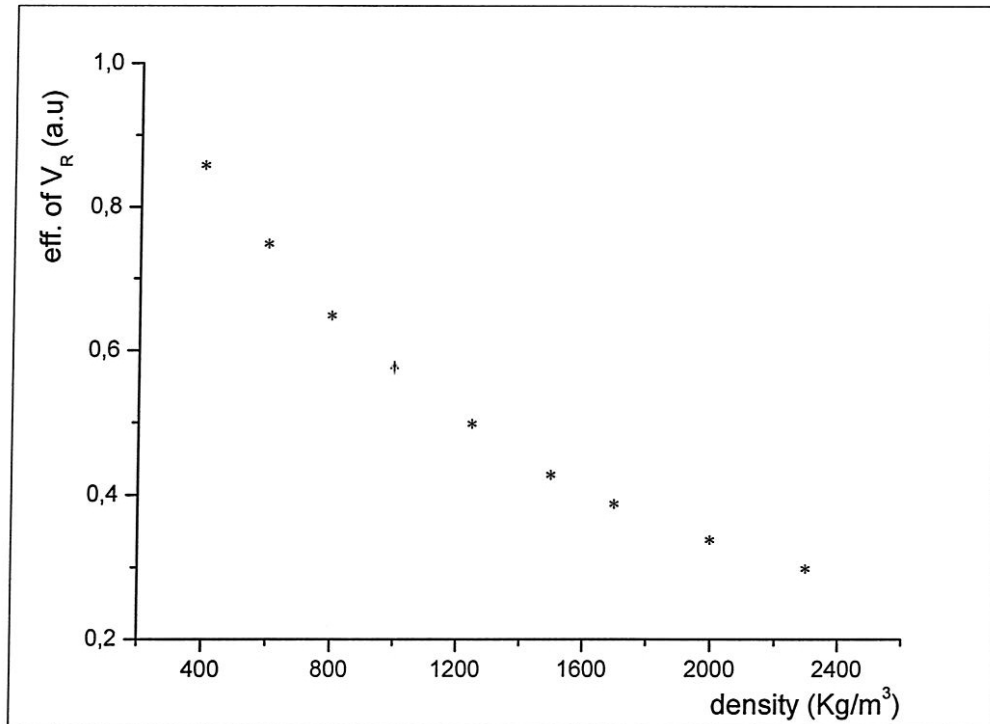
2-3-3 تأثير الكثافة على فعالية نمط رايلي

في هذا الجزء استخدمنا مواد افتراضية، ذات كثافات مختلفة، ودرسنا مدى تأثير الكثافة على فعالية النمط المدروس، المتمثل في نمط رايلي، و ذلك بعد تغذية برنامج المحاكاة بالمعطيات اللازمة، حيث ثبتنا باقي المتغيرات، وغيرنا فقط الكثافة، فكانت النتائج المتحصل عليها، ممثلة في الشكل (11-3)، الذي

يوضح فعالية نمط رايلي من أجل قيم مختلفة للتواتر. لتوضيح هذا التأثير قمنا بتمثيل النتائج بيانيا فتحصلنا على البيان الموضح في الشكل (3-12). حيث نشاهد التناقص الملحوظ للفعالية، بزيادة كثافة المادة المدروسة، مما يدل على أن الكثافة هي من العوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي، فزيادة الكثافة تؤدي إلى تناقص الفعالية.



الشكل (3-11) تأثير الكثافة على فعالية نمط رايلي



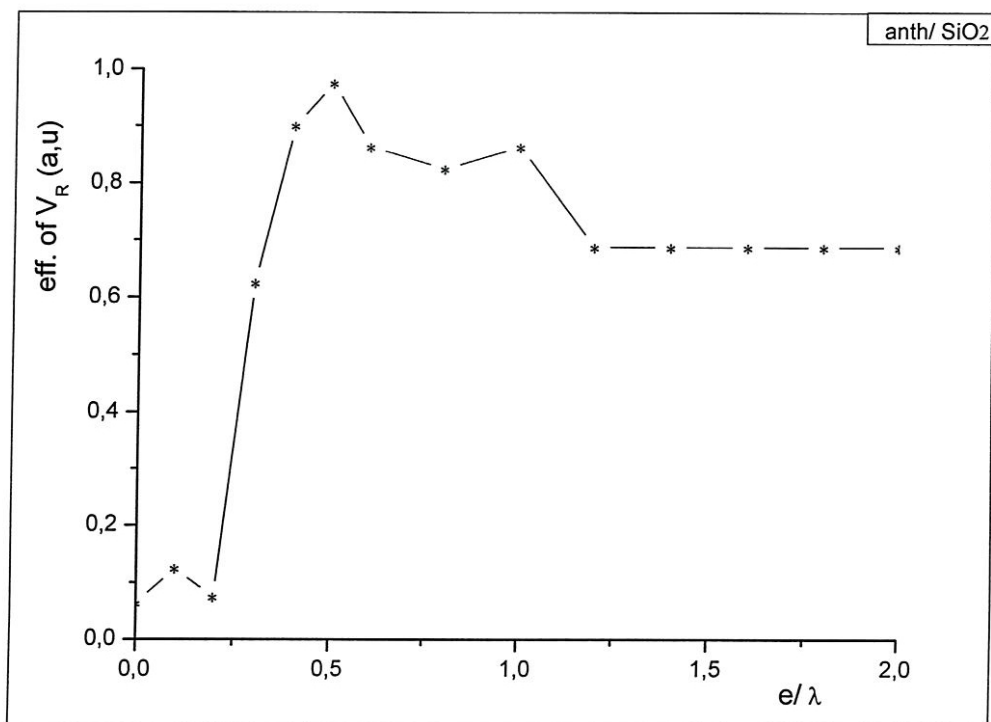
الشكل (3-12): تأثير كثافة المادة على فعالية نمط رايلي

3-3-3 تأثير السمك على فعالية نمط رايلي

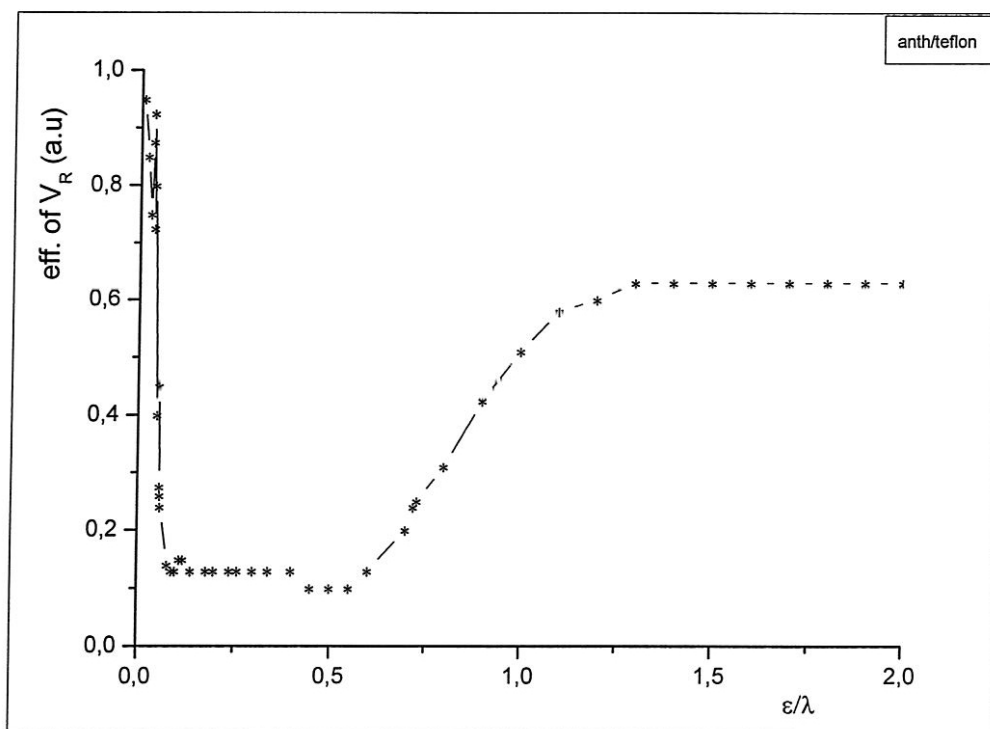
في هذا الجزء من البحث، و بغرض دراسة تأثير السمك علي فعالية نمط رايلي المنتشر في البنية / طبقة / مسند، فقد قمنا بدراسة هذه الظاهرة في البنية أنتراسين / تيفلون (PTFE)، و البنية أنتراسين / SiO_2 ، ثم اتبعناها ببنيات أخرى، فتحصلنا على النتائج المبينة في الأشكال: من (13-3) إلى (17-3)، والجدول (1-3) يوضح مميزات المواد المستعملة في هذه الدراسة.

المادة	$V_L(\text{m/s})$	$V_T(\text{m/s})$	$\rho(\text{Kg/m}^3)$	المرجع
الأنتراسين	2400	1470	1250	[5]
SiO_2	5968	3764	2150	[2]
PTFE	1390	700	2140	[2]
Der332	2550	1180	1240	[3]
Silver-epoxy	1900	980	2710	[3]
Crystallor	2170	1030	830	[3]

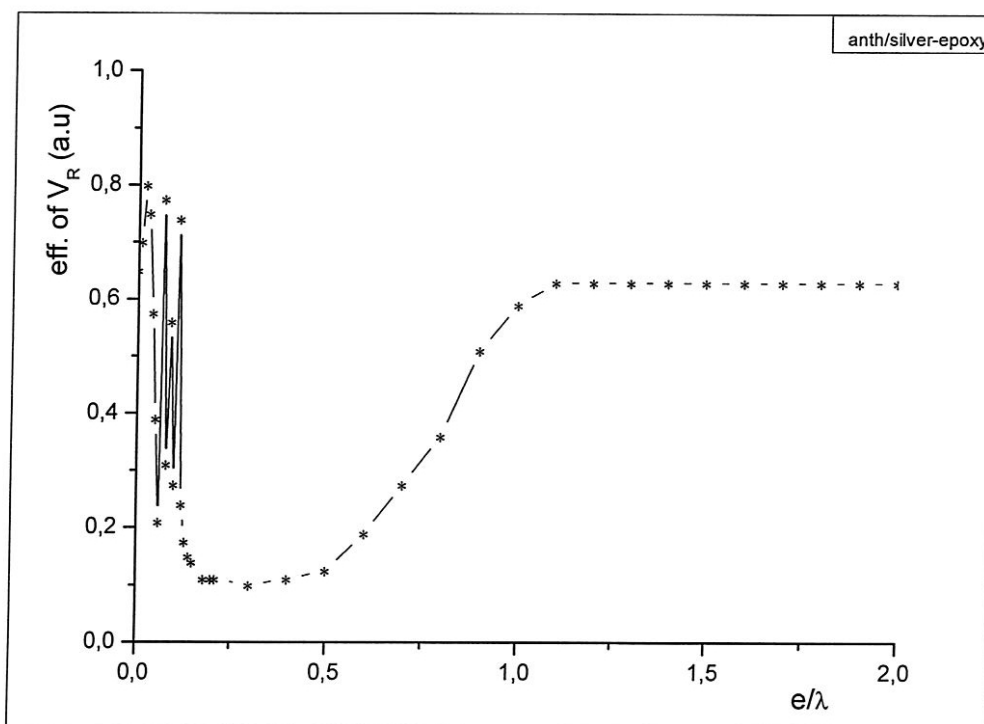
الجدول (1-3) مميزات المواد المستعملة في دراسة تأثير السمك علي فعالية نمط رايلي



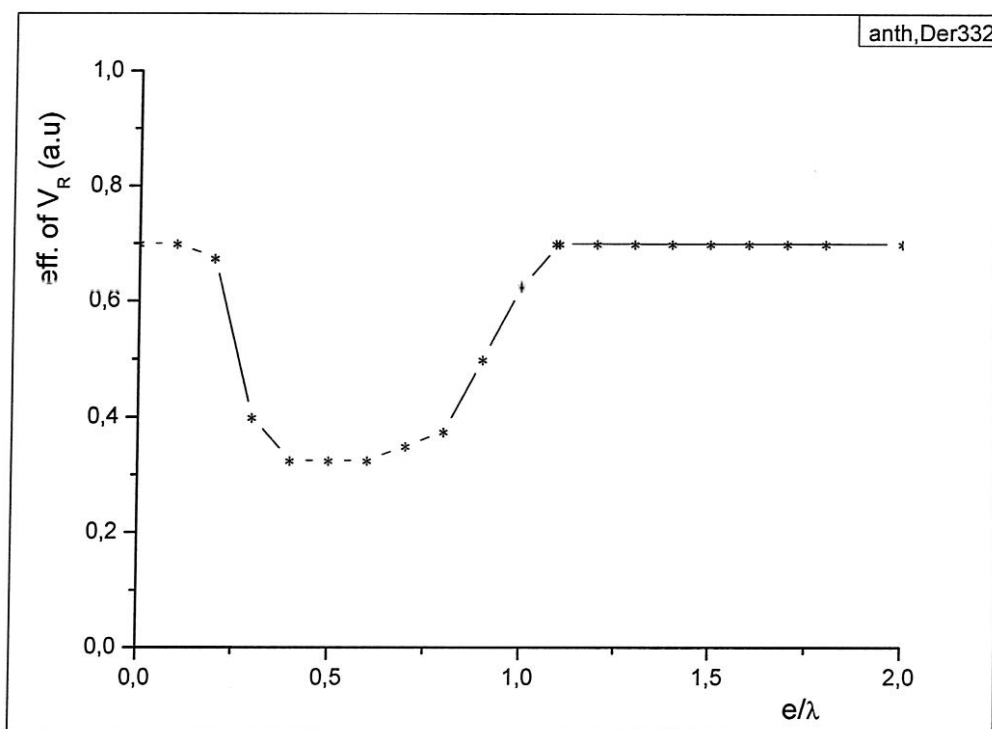
الشكل (3-13): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/SiO₂



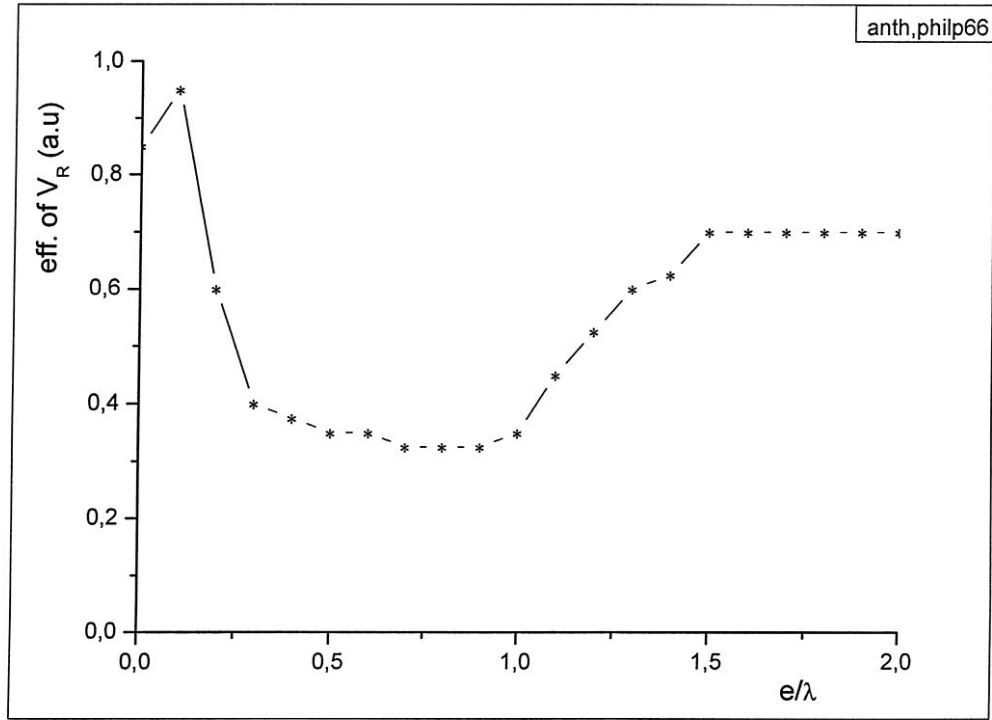
الشكل (3-14): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/PTFE



الشكل (3-15): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/silver-epoxy



الشكل (3-16): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/Der332



الشكل (3-17): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/ Crystallor

بمقارنة مميزات المواد المستعملة كمساند مع مميزات الأنتراسين، و الذي يمثل مادة الطبقة، في الجدول (3-1)، نجد أنها مقسمة إلى مجموعتين:

- المجموعة الأولى فيها سرعة المسند أكبر من سرعة الطبقة؛ ظاهرة تحميل السند، و هي حالة المسند SiO_2 . في هذه الحالة منحنى الفعالية يمر بثلاث مراحل، في البداية تكون الفعالية ضعيفة، ثم تتزايد لتبلغ أقصى قيمة فتتناقص قليلاً، و في المرحلة الأخيرة، تثبت عند قيمة محددة مهما تغير السمك المنظم.

- المجموعة الثانية فيها سرعة المسند أصغر من سرعة الطبقة؛ ظاهرة تصلب المسند، و هي حالة باقي المواد المستعملة. يمر منحنى الفعالية كذلك بثلاث مراحل، لكن في هذه الحالة تكون الفعالية في البداية معتبرة،

ثم تمر بمرحلة تكون فيها ضعيفة، بعدها تتزايد لتصل في المرحلة الأخيرة إلى قيمة محددة تثبت عندها، بالنسبة لكل المواد المستعملة. كما نلاحظ، بالنسبة لظاهرة تصلب المسند، عندما نقارن قيم الكثافة، أنها تنقسم إلى مجموعتين: مجموعة تكون فيها كثافة المسند أكبر من كثافة الطبقة، و هي حالة المادتين PTFE و Silver-epoxy ؛ التي تكون فيها أدنى قيمة للفعالية، أقل من القيمة الدنيا للفعالية في المجموعة الثانية، التي فيها كثافة المسند أصغر من كثافة الطبقة؛ حالة المادتين Der332 و Crystallor.

4-3-3 تأثير كثافة المسند على فعالية نمط رايلي للبنية طبقة/مسند

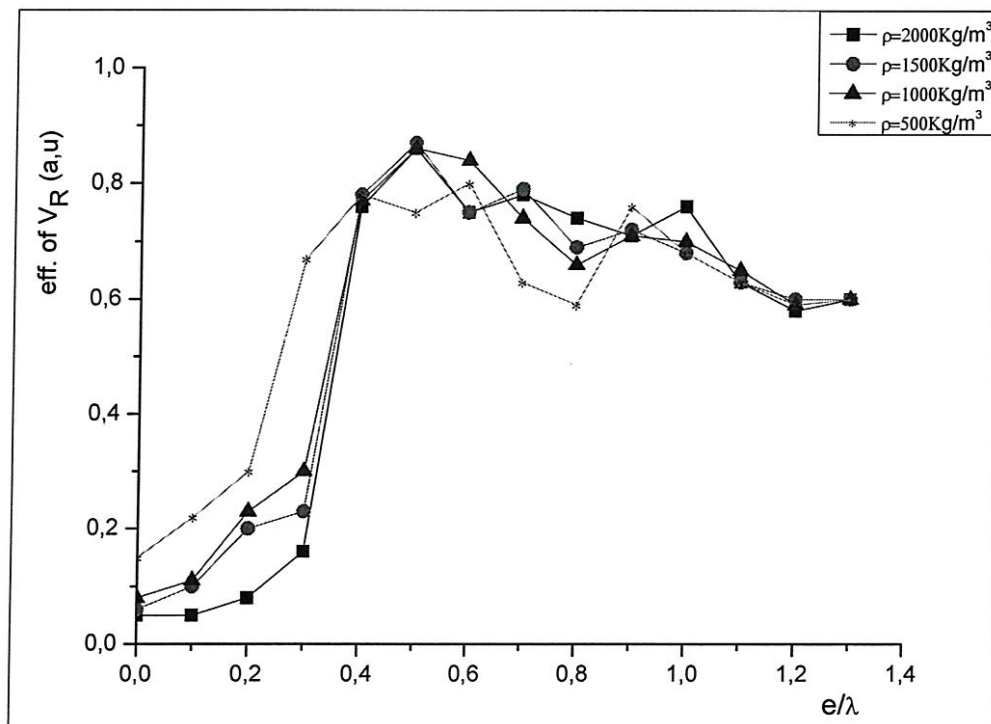
نظرا لنتيجة الفقرة السابقة، التي تؤكد تأثير كثافة المسند على فعالية نمط رايلي، فقد خصصنا هذه الفقرة لدراسة هذا الموضوع، في حالة تحميل و حالة تصلب المسند.

1-4-3-3 حالة تحميل المسند

باستخدام برنامج المحاكاة، و بعد تغذيته بالمعلومات اللازمة، من أجل عدد من المواد الافتراضية مختلفة الكثافة، المستعملة كمسند. حيث كان تواتر العمل 73.5 MHz، أما سائل الربط فهو الهليوم السائل. الجدول (2-3) يلخص مميزات المواد الافتراضية المستعملة في دراسة تأثير كثافة المسند على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/ مسند، في حالة تحميل المسند، أو حالة جملة مكونة من طبقة بطيئة فوق مسند سريع، فتحصلنا على النتائج الممثلة في الشكل (3-18).

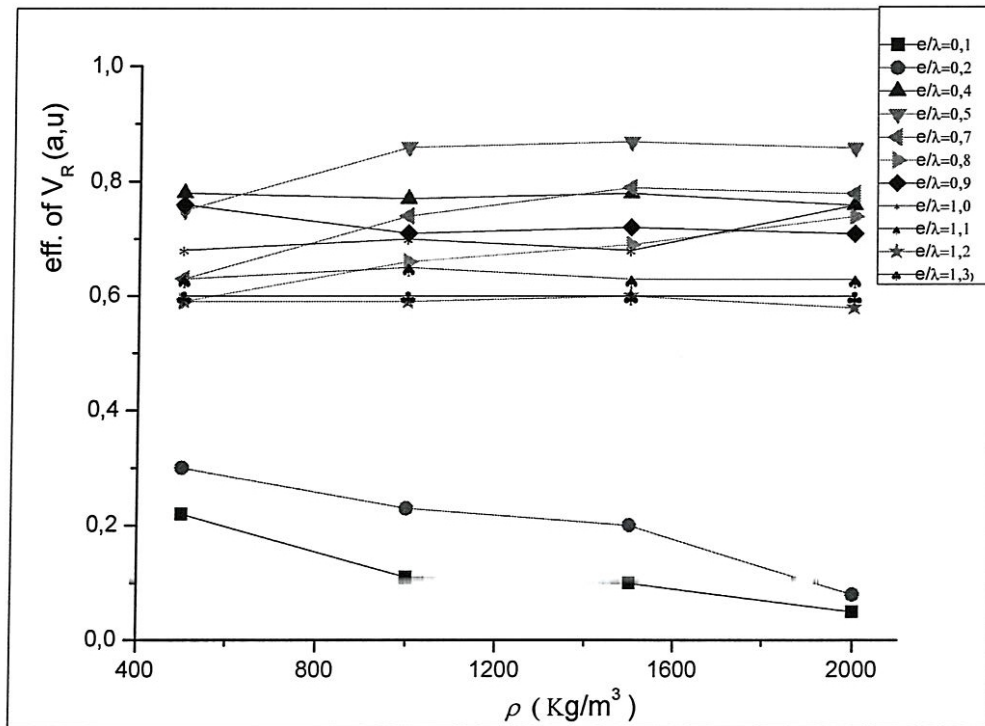
المواد	$V_L(m/s)$	$V_T(m/s)$	$\rho(Kg/m^3)$
الأنتراسين (طبقة)	2400	1470	1250
المسند 1	5968	3764	500
المسند 2	5968	3764	1000
المسند 3	5968	3764	1500
المسند 4	5968	3764	2000

الجدول (2-3): مميزات المساند المستعملة في دراسة تأثير كثافة المسند على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/ مسند ، في حالة تحميل المسند.



الشكل (3-18): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي ، للبنية أنتراسين / مسند من أجل قيم مختلفة لكثافة المسند. و ذلك في حالة تحميل المسند.

نلاحظ من البيان أنه مقسم إلى ثلاث مراحل: في المرحلة الأولى و التي يكون فيها السمك المنظم $e/\lambda < 0.4$ ، تؤدي زيادة كثافة المسند إلى تناقص الفعالية، و من أجل $e/\lambda = 0.4$ تأخذ الفعالية قيمة ثابتة لجميع المساند. المرحلة الثانية و التي يكون فيها $0.4 < e/\lambda < 1.1$ ، تصبح الصورة معكوسة تقريبا، بحيث أصغر قيمة للكثافة تؤدي إلى أصغر قيمة للفعالية من أجل معظم النقاط الممثلة في البيان، مع تساوي الفعالية لبعض المساند من أجل نفس قيم السمك المنظم، و اختلافها بالنسبة للقيم الأخرى. أما المرحلة الثالثة و التي يكون فيها السمك المنظم $e/\lambda \geq 1.1$ فتصبح الفعالية ثابتة بالنسبة لجميع المساند. و لتأكيد هذه الملاحظات، قمنا بتمثيل الفعالية بدلالة الكثافة، للبنية أنتراسين / مسند من أجل قيم مختلفة للسمك المنظم، باستخدام نفس القيم الممثلة في الشكل (3-18)، فتحصلنا على النتائج الممثلة في الشكل (3-19)، التي تؤكد ما ذكرناه.



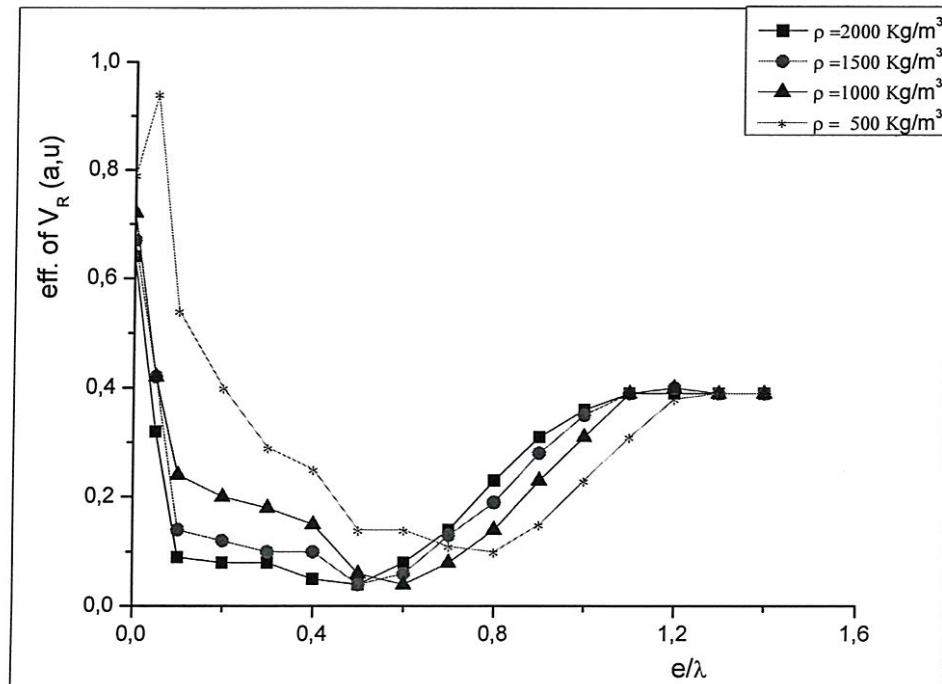
الشكل (3-19): تأثير الكثافة على فعالية نمط رايلي ، للبنية أنتراسين / مسند من أجل قيم مختلفة للسمك المنظم. و ذلك في حالة تحميل المسند.

2-4-3-3 حالة تصلب المسند

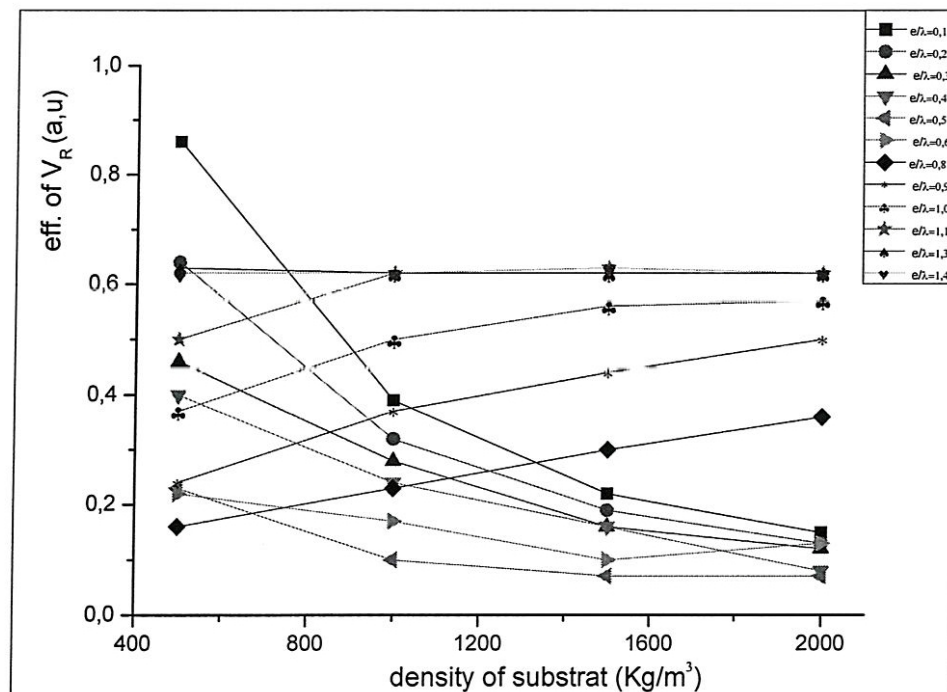
لدراسة تأثير كثافة المسند على فعالية نمط رايلي، للبنية أنتراسين/ مسند، في حالة تصلب المسند، أو حالة جملة مكونة من طبقة سريعة فوق مسند بطيء، فقد اخترنا عددًا من المساند الافتراضية ذات المميزات المدونة في الجدول (3-3)، و ذلك باستخدام تواتر عمل قيمته 73.5 MHz، وسائل الربط هو الهليوم السائل، فتحصلنا على النتائج الممثلة في الشكل (20-3).

المواد	$V_L(m/s)$	$V_T(m/s)$	$\rho (Kg/m^3)$
الأنتراسين (طبقة)	2400	1470	1250
المسند 1	1390	700	500
المسند 2	1390	700	1000
المسند 3	1390	700	1500
المسند 4	1390	700	2000

الجدول (3-3): مميزات المساند المستعملة في دراسة تأثير كثافة المسند على فعالية نمط رايلي للبنية أنتراسين/ مسند ، في حالة تصلب المسند



الشكل (20-3): تأثير السمك على فعالية نمط رايلي ، للبنية أنتراسين / مسند من أجل قيم مختلفة لكثافة المسند. و ذلك في حالة تصلب المسند.



الشكل (21-3): تأثير الكثافة على فعالية نمط رايلي ، للبنية أنتراسين / مسند من أجل قيم مختلفة للسمك المنظم. و ذلك في حالة تصلب المسند.

نلاحظ أن البيان بصورة عامة مقسم إلى ثلاث مراحل: في المرحلة الأولى، التي يكون فيها $e/\lambda < 0.055$ ، تؤدي زيادة كثافة المسند إلى تناقص الفعالية. المرحلة الثانية و التي يكون فيها $0.55 < e/\lambda < 1.2$ ، فإن زيادة كثافة المسند تؤدي إلى زيادة الفعالية، مع ملاحظة أنه بين القيمتين 0.55 و 0.75 للسلك المنظم و من أجل كثافة $\rho = 500 \text{ Kg/m}^3$ ، فإن الفعالية تكون أكبر من فعالية المساند الأخرى في هذا المجال. و في المرحلة الأخيرة فإن قيمة الفعالية تصبح ثابتة بالنسبة لجميع المساند و ذلك من أجل $e/\lambda \geq 0.12$. كما فعلنا في الفقرة السابقة، فلنؤكد هذه الملاحظات، قمنا بتمثيل الفعالية بدلالة الكثافة، للبنية أنتراسين / مسند من أجل قيم مختلفة للسلك المنظم، باستخدام نفس القيم الممثلة في الشكل (3-20)، فتحصلنا على النتائج الممثلة في الشكل (3-21)، التي تؤكد ما ذكرناه.

5-3 الخلاصة

درسنا في هذا الفصل: ظاهرة تبدد السرعات، و التي تتمثل في تغير السرعة بدلالة السلك المنظم للطبقة، فدرسنا تبدد نمط رايلي للجملة أنتراسين/PTFE، والتي تمثل التبدد الموجب أو ظاهرة تصلب المسند. كما درسنا تبدد نمط رايلي للجملة أنتراسين/ SiO_2 ، والتي تمثل التبدد السالب أو ظاهرة تحميل المسند. ثم تطرقنا إلى دراسة تبدد النمط الطولي للبنيتين: أنتراسين/ SiO_2 ، أنتراسين/ نحاس .

درسنا كذلك العوامل المؤثرة على فعالية نمط رايلي، بالنسبة لمادة الأنتراسين في الحالة الحجمية، وفي حالة البنية طبقة/مسند فدرسنا تأثير: تواتر العمل، كثافة المادة، سمك الطبقة المرسبة، و كثافة المسند. وجدنا أن زيادة كل من التواتر، أو كثافة المادة في الحالة الحجمية، تؤدي إلى تناقص الفعالية بصورة واضحة.

أما بالنسبة للبنية طبقة /مسند، فإن تغيير سمك الطبقة يؤدي إلى ظهور ثلاث مراحل، تختلف باختلاف البنية، ففي حالة جملة مكونة من طبقة بطيئة فوق مسند سريع، فإن الفعالية تبدأ ضعيفة ثم تكون معتبرة في المرحلة الثانية، و في النهاية تأخذ قيمة ثابتة أقل من قيم المرحلة الثانية. أما في حالة الجملة المكونة من

طبقة سريعة فوق مسند بطيء، فإن الفعالية تبدأ معتبرة ثم تضعف في المرحلة الثانية، و في النهاية تأخذ قيمة ثابتة، تكون معتبرة و أكبر من قيم المرحلة الثانية.

تأثير كثافة المسند يعتمد على سمك الطبقة، فمن أجل القيم الصغيرة للسمك المنظم $e/\lambda < 0.5$ ، تؤدي زيادة الكثافة إلى تناقص فعالية نمط رايلي، ومن أجل القيم الكبيرة نوعا ما $e/\lambda > 1.2$ فإن الفعالية تكون ثابتة، و في المجال المحصور بينهما فإن تأثير الكثافة يكون متغاير، لكن، و بصورة عامة يمكن القول انه خلال هذا المجال، فإن زيادة كثافة المسند تؤدي إلى زيادة فعالية نمط رايلي .

الإستنتاجات العامة

في بداية هذه الأطروحة هذه الأطروحة تطرقنا إلى ما جاء في أدبيات المادة فيما يتعلق بتعريف أنصاف النواقل العضوية، الذاتية و المطعمة، و التذكير بطرق تطعيمها، ثم عرضنا بعض خصائصها الكهربائية و الضوئية .

بعد التعريف بمادة الأنتراسين ، و بتقنية الدراسة غير المتلفة، و المتمثلة في تقنية المجهرية الصوتية قمنا بتعيين الخصائص المرورية للأنتراسين ، فحسبنا سرعة انتشار النمط الطولي وسرعة انتشار النمط العرضي ، ثم قمنا بتعيين سرعة رايلي للأنتراسين، فكانت النتائج المتحصل عليها هي :

- سرعة انتشار النمط العرضي : $V_T = 1470 \text{ m/s}$

- سرعة انتشار النمط الطولي : $V_L = 2400 \text{ m/s}$

- سرعة انتشار نمط رايلي : $V_R = 1334 \text{ m/s}$

في الجزء الأخير درسنا ظاهرة تبدد السرعات، و التي تتمثل في تغير السرعة بدلالة السمك المنظم للطبقة، فدرسنا تبدد نمط رايلي للجملة أنتراسين/PTFE، والتي تمثل التبدد الموجب أو ظاهرة تصلب المسند .

كما درسنا تبدد نمط رايلي للجملة أنتراسين / SiO ، والتي تمثل التبدد السالب أو ظاهرة تحميل المسند. ثم تطرقنا إلى دراسة تبدد النمط الطولي للبنيتين: أنتراسين / SiO_2 ، أنتراسين / نحاس.

ختمنا دراستنا بالتطرق للعوامل المؤثرة على فعالية نمط رايلي، بالنسبة لمادة الأنتراسين في الحالة الحجمية، وفي حالة البنية طبقة/مسند، فوجدنا أن زيادة كل من التواتر، أو كثافة المادة في الحالة الحجمية، يؤدي إلى تناقص فعالية نمط رايلي بصورة واضحة. أما بالنسبة للبنية طبقة /مسند، فإن تغيير سمك الطبقة يؤدي إلى ظهور ثلاث مراحل، تختلف باختلاف البنية. بالنسبة لتأثير كثافة المسند فإنه يعتمد على سمك الطبقة، فمن أجل القيم الصغيرة للسمك المنظم $e/\lambda < 0.5$ ، تؤدي زيادة الكثافة إلى تناقص فعالية نمط رايلي، ومن أجل القيم الكبيرة نوعاً ما $e/\lambda > 1.2$ فإن الفعالية تكون ثابتة، وفي المجال المحصور بينهما فإن تأثير الكثافة يكون متغيراً.

الإستنتاجات العامة

في بداية هذه الأطروحة تطرقنا إلى ما جاء في أدبيات المادة فيما يتعلق بتعريف أنصاف النواقل العضوية، الذاتية و المطعمة، و التذكير بطرق تطعيمها، ثم عرضنا بعض خصائصها الكهربائية و الضوئية .

بعد التعريف بمادة الأنتراسين ، و بتقنية الدراسة غير المتلفة، و المتمثلة في تقنية المجهرية الصوتية قمنا بتعيين الخصائص المرونية للأنتراسين ، فحسبنا سرعة انتشار النمط الطولي وسرعة انتشار النمط العرضي، ثم قمنا بتعيين سرعة رايلي للأنتراسين، فكانت النتائج المتحصل عليها هي :

- سرعة انتشار النمط العرضي : $V_T = 1470 \text{ m/s}$

- سرعة انتشار النمط الطولي : $V_L = 2400 \text{ m/s}$

- سرعة انتشار نمط رايلي : $V_R = 1334 \text{ m/s}$

في الجزء الأخير درسنا ظاهرة تبدد السرعات؛ التي تتمثل في تغير السرعة بدلالة السمك المنظم للطبقة، فدرسنا تبدد نمط رايلي للجملة أنتراسين/PTFE، والتي تمثل التبدد الموجب أو ظاهرة تصلب المسند.

كما درسنا تبدد نمط رايلي للجملة أنتراسين/ SiO_2 ، والتي تمثل التبدد السالب أو ظاهرة تحميل المسند. ثم تطرقنا إلى دراسة تبدد النمط الطولي للبنيتين: أنتراسين/ SiO_2 ، أنتراسين/نحاس.

ختمنا دراستنا بالتطرق للعوامل المؤثرة في فعالية نمط رايلي، بالنسبة لمادة الأنتراسين في الحالة الحجمية، وفي حالة البنية طبقة/مسند، فوجدنا أن زيادة كل من التواتر، أو كثافة المادة في الحالة الحجمية، يؤدي إلى تناقص فعالية نمط رايلي بصورة واضحة. أما بالنسبة للبنية طبقة/مسند، فإن تغيير سمك الطبقة يؤدي إلى ظهور ثلاث مراحل، تختلف باختلاف البنية. بالنسبة لتأثير كثافة المسند فإنه يعتمد على سمك الطبقة، فمن أجل القيم الصغيرة للسمك المنظم $e/\lambda < 0.5$ ، تؤدي زيادة الكثافة إلى تناقص فعالية نمط رايلي، ومن أجل القيم الكبيرة نوعاً ما $e/\lambda > 1.2$ فإن الفعالية تكون ثابتة، و في المجال المحصور بينهما فإن تأثير الكثافة يكون متغير.

المراجع

مراجع المقدمة العامة

- [1] Thomas M. Schweizer, Master of Science in the School of Electrical and Computer Engineering Thesis, Georgia Institute of Technology (2005).
- [2] Sadaharu Jo, H. Yoshikawa, A. Fujii, M. Takenaga, Applied Surface Science, 252 (2006)
- [3] Youji I., et al., IEEE , WPM P3.02 (2003).
- [4] G. Madhurambal and P. Anbu Srinivasan , Cryst. Res. Technol. 41, No. 3, 231 – 235 (2006)
- [5] M.I. Alonso, M. Garriga, Thin Solid Films 455-456 (2004) 124-131
- [6] Landolt-Börnstein, New Series II /25D, Springer (2005).

مراجع الفصل الأول

- [1] Karl N., “Organic Semiconductors”, Festkörperprobleme /Adv.Solid State Phys. 78 (1974) 652.
- [3•2] Alan J. Heeger, Current Applied Physics 1 (2001) 247-267
- [5•4] Alan J. Heeger, Rev. Mod. Phys.73 (2001) 681-700
- [6] George Vamvounis.PhD. thesis . , SIMON FRASER UNIVERSITY (2004).
- [8] Anna Köhler , Joanne Wilson , Organic Electronics 4 (2003) 179–189
- [7] A.Tautges. j.phys.Chem.Lab (2002).
- [9] A. S. Davidov, *Theory of Molecular Excitons* (Plenum, New York, 1971).
- [10] S. Suhai, *Phys. Rev. B* **29**, 4570 (1984).
- [11] Jan Kalinowski . Electroluminescence in organics, J. Phys. D: Appl. Phys. **32** (1999) R179–R250.
- [12] Bin Fan, Liangti Qu, Gaoquan Shi. Journal of Electroanalytical Chemistry 575 (2005) 287–292
- [13] L.H. Sperling, Introduction to Physical Polymer Science, 4 th ed., John Wiley & Sons, INC. Publication (2006).
- [14] G. Madhurambal and P. Anbu Srinivasan , Cryst. Res. Technol. 41, No. 3, 231 – 235 (2006).

مراجع الفصل الثاني

- [1] I .Hadjoub , Mémoire de Magister , Annaba 1998.
- [2] Heinz Bäessler . Primary Photoexcitations In Conjugated Polymers : Molecular exciton versus Semiconductors Band Model ,Chap 3. pp 52 , edited by Niyazi Serdar Sariciftci , World scientific: Linz; 1997.
- [3] Okamoto, Y.; Brenner, W.” Organic Semiconductors”. Reinhold Publishing Corporation: New York; 1964.
- [4] Sadaharu Jo, H. Yoshikawa, A. Fujii, M. Takenaga, Applied Surface Science, 252 (2006)
- [5] H.B. Huntington, S.G. Gangoll, J.L. Mills, *J. Chem. Phys.*50 (1969) 3844.
- [6] J. Monteath Robertson , *Rev. Mod. Phys.* **30**, (1958) 155.
- [7] G. Madhurambal and P. Anbu Srinivasan , *Cryst. Res. Technol.* **41**, No. 3, 231 – 235 (2006)
- [8] P. Dohányosová, V. Dohnal, D. Fenclová, *Fluid Phase Equilibria* **214** (2003) 151–167
- [9] F. HADJOUB , These de MAGISTER , Semi-Conducteur , Univercite de ANNABA, 1992.
- [10] C.F.Quate. “ Acoustic Microscopy : Recollection “ . *IEEE Trans. Sonis . Ultrason*, Su-32(2), pp 132-135 (1985).
- [11] Bertoni, H. L., 1984, *IEEE Trans.* **SU-31**, 105.
- [12] A. Atalar, “A physical model for acoustic signature,” *J. Appl. Phys.*, **vol. 50** ,8237- 8239,(1979).
- [13] C.G.R. Sheppard and Wilson *APP. Phys .Lett* **38** , (1981) 858.
- [14] W. Parmon and H. L. Bertoni, “Ray interpretation of the material signature in the acoustic microscope,” *Elect. Lett.*, vol. 11, pp.684-686 , 1979.
- [15] G.K. Afanas'eva, B.D. Koreshkov, *Sov. Phys. Cryst.* **15** (1970) 158.
- [16] G.S. Pawley, *Phys. Stat. Sol.* **20** (1967) 347.
- [17] T. Danno, H. Inokuchi, *Bull. Chem. Soc. Jpn* **41** (1968)1783.
- [18] R.C. Dye, C.J. Eckhardt, *J. Chem. Phys.* **90** (1989) 2090.
- [19] S. Elnahwy, M.El Hamamsy,A.C.Damask , D.E.Cox, and W.B . Daniels, *J.Chem.***68**,1161 (1978).
- [20] A. Briggs. “ Acoustic Microscopy ” , Clarendon Press , Oxfores (1992).
- [21] Onda corporation , updated april 11,2003.

مراجع الفصل الثالث

- [1] P . V. Zinin , "Hand Book of Elastic Properties of Solids , Liquids and Gases", Volume 1. edited by Levy .Bass and stern (academic Press, N,Y. 2001) 187.
- [2] A. Briggs. " Acoustic Microscopy " , Clarendon Press , Oxfoed (1992).
- [3] Onda corporation , updated april 11,2003.
- [4] Z. Hadjoub , " Thèse de Doctorat d'Etat " , Univ. Annaba , (1993).
- [5] This work..