وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المثنى – كلية العلوم
قسم الفيزياء

" دراسة تأثير أضافة الكاربون نانوتيوب (MWCNTs) على بوليمر بولي ميثل ميثاكريليك(PMMA)"

بحث مقدم الى مجلس كلية العلوم كجزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في علوم الفيزياء

أعداد الطلاب

زينب محمد　　زينب عاصي　　احمد سلام

أشراف

أ.م. علي سلمان التميمي

1443هـ　　2022م

{ يَرْفَعِ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ وَ الَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَات}

المجادلة (الأية 11)

صَدَقَ اللَّهُ الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ

إلى كل من علمني حرفا في هذه الدنيا الفانية .

كلماتي لن تفي حق كل من ساندني ودعمني لكنها دليل عرفان وتقدير لهم .

إلى التي جعلتني أعانق الفرح كل يوم إليك ايتها انسانه الرائعه،التي لا حياة دونها ،اليك يا من تحملت عناءنا الى:

والدتي العزيزة

إلى من سعى وشقى لانعم بالراحة والهناء الذي لم يبخل بشيء من أجل دفعي في طريق النجاح الذي علمني ان ارتقي سلم الحياة بحكمة والصبر الى:

والدي العزيز

ألى من علمني حروفا من ذهب وكلمات من درر وعبارات من أسمى واجلى عبارات في العلم إلى من صاغو ألي من علمهم حروفا ومن فكرهم منارة تنير لنا مسيرة العلم والنجاح الى:

أساتذتي الكرام

نهدي هذا العمل المتواضع راجين من المولى عزوجل ان يجد القبول والنجاح.

الحمد لله رب العالمين الذي وفقنا وأعاننا على إنهاء هذا البحث والخروج به بهذه الصورة المتكاملة، فبالأمس القريب بدأنا مسيرتنا التعليمية ونحن نتحسس الطريق برهبة وارتباك، فرأينا أن (الفيزياء) هدفًا ساميًا وحبًا وغاية تستحق السير لأجلها، وإن بحثنا يحمل في طياته طموح شباب يحلمون أن تكون أمتهم العربية كالشامة بين الأمم.

ونخص بجزيل الشكر والتقدير إلى من كان لهم السبق في ركب العلم والتعليم، ويا من بذلتم ولم تنتظروا العطاء ، نهدي لكم أسمى عبارات الشكر والتقدير وانا افتخر بكم جدا ...ألى الأساتذة الكرام في كلية العلوم .. قسم الفيزياء.

ونتوجه بالشكر الجزيل-:

الأستاذ علي سلمان التميمي

الذي رافقنا في مسيرتنا لإنجاز هذا البحث وكانت له بصمات واضحة من خلال توجيهاته لنا فجزاه الله عنا كل خير، فله منا كل التقدير والاحترام.

المحتويات

التسلسل	الموضوع	رقم الصفحة
	الفصل الأول	
1-1	المقدمة	2
2-1	نبذة تاريخية	3
3-1	المضافات	4
4-1	اسود الكاربون	5
5-1	تركيب المواد البوليمرية	6
6-1	تصنيف البوليمرات حسب تركيب السلسلة البوليمرية	6
7-1	بولي مثيل ميثا أكريليك PMMA	8
8-1	الاستخدامات	9
9-1	الخواص العازلة للبوليمرات	9
10-1	طرق قياس سمك الأغشية الرقيقة	10
1-10-1	طريقة الوزن	10
2-10-1	طريقة التداخل الضوئي	10
3-10-1	طريقة المرقاب البلوري	11
4-10-1	طريقة امتصاص وانبعاث الأشعاع	11
5-10-1	طرق الكهربائية	12
11-1	الدراسات السابقة	13
1-11-1	دراسات سابقة عن PMMA	13
2-11-1	دراسات سابقة عن MWCNTS	14
12-1	الهدف من البحث	15
	الفصل الثاني: الجزء العملي والتحضير	
1-2	مقدمة	17
2-2	تهيئة قواعد الصب	17
3-2	عملية الأذابة و التشويب	17
4-2	التشخيص	18
1-4-2	جهاز قياس طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR	18
2-4-2	مجهر القوة الذرية	19
3-4-2	جهاز المجهر الألكتروني الماسح	٢١
4-4-2	الميزان الحساس	٢٢
5-4-2	جهاز المازج الكهربائي	٢٣
6-4-2	جهاز قياس خواص العازلية RLC	٢٤
	الفصل الثالث: النتائج والمناقشة	
1-3	المقدمة	٢٦
2-3	الجانب النظري	٢٦
3-3	النتائج العملية	٣٠
1_3_3	سعة المتسعة	٣١
2_3_3	ثابت العزل ε	٣٢
3_3_3	عامل الفقد tanδ	34
4_3_3	عامل الجودة Q	34

5_3_3	التوصيلية المتناوبة σ	35
	الفصل الرابع	
	الأستنتاجات	37
	المصادر	38

الأشكال

التسلسل	اسم الشكل	رقم الصفحة
1_2	جهاز طيف الاشعة تحت الحمراء	19
2_2	طيف الاشعة تحت الحمراء لمجاميع الفعالة ل MWCNTS	19
3_2	أغشية محضرة بجهاز AFM	20
4_2	صور FESEM ل MWCNTS	21
5_2	ميزان الحساس	22
6_2	جهاز المازج الكهربائي	23
7_2	جهاز قياس خواص العازلية RLC	23
1_3	حزم الطاقة في مواد	26
2_3	دائرة المستخدمة في ربط توالي وتوازي	29
3_3	العلاقة بين سعة توالي Cs والتردد	29
4_3	العلاقة بين سعة توازي Cp والتردد	30
5_3	العلاقة بين ثابت العزل الحقيقي والتردد	30
6_3	العلاقة بين ثابت العزل الخيالي والتردد	31
7_3	العلاقة بين عامل الفقد والتردد	31
8_3	العلاقة بين عامل الجودة والتردد	32
9_3	العلاقة بين والتوصيلية المتناوبة والتردد	39

الرموز

الرمز	الأسم	الوحدة
ρ	كثافة PMMA	g/cm
n	معامل الانكسار	
N	قوة تصادم	N/cm
Mpa	معامل مرونة	N/m2
CTg	درجة الانتقال الزجاجي	C°
CTm	درجة الانصهار	C°
t	سمك الغشاء الرقيق	cm
m	كتلة المادة	g
R	نصف القطر	cm
s	عرض الهدب	cm
σ	مسافة بين الاهداب	cm

λ	الطول الموجي	Cm-1
V	فرق جهد	Volt
I	التيار الكهربائي	Amper
S	المسافة	cm
P	مقاومة الغشاء	Ω.m
Cs	سعة التوالي	PF
Cp	سعة التوازي	PF
f	التردد	KHZ
tanδ	عامل الفقد	
Q	عامل الجودة	
εyy	ثابت العزل الكهربائي	F/m
ε1	ثابت العزل الحقيقي	F/m
ε2	ثابت العزل الخيالي	F/m
σ	والتوصيلية المتناوبة	S
Co	سعة المتسعة بوجود الهواء	PF
εo	سماحية الهواء	F/m
A	مساحة الأقطاب	m2
ω	التردد الزاوي	Sec-1
P	عزم القطب الثنائي	C.m
E	شدة المجال الكهربائي	V/m
εr	سماحية الوسط	F/m
C	قيمة متسعة النموذج	PF
d	سمك النموذج	cm
σac	توصيلية عند تيار المتناوب	S
σdc	توصيلية عند تيار المستمر	S

الجداول

التسلسل	الأسم	رقم الصفحة
1_1	الفصل الأول خواص PMMA	8
1_2	الفصل الثاني تشخيص العينات المحضرة في مجهر القوة الذرية	21

الخلاصة

نظرا للتطور التكنلوجي السريع لعلم البوليمرات من بداية السبعينيات وحتى وقتنا هذا فقد تم العمل على تحضير الأغشية البوليمرية من (PMMA:MWCNTS)بطريقة الصب casting method .
حيث تمت دراسة الخواص العازلية لهذه الاغشية لبيان مدى تأثير اضافة (MWCNTS) على (PMMA) بعد تحسين خواصها. فتمثل الجزء الأول بدراسة نظرية عامة عن تركيب البوليمرات ومعرفة خواصها العازلة وكذلك معرفة خصائص PMMA و استخداماته، وطرق قياس سمك الاغشية الرقيقة .
أما الجزء الثاني من الدراسة فقد تضمن تحضير نماذج أغشية رقيقة باستخدام PMMA ودراسة تأثير أضافة كاربون نانو تيوب(MWCNTS) على الخواص العازلية لهذا البوليمير وبنسب وزنية مختلفة (0,5,10)% إلى الغشاء البوليمري المتكون (PMMA:MWCNTS) وذلك لزيادة الخواص العازلية للأغشية المحضرة.
أما الجزء الثالث فقد تناول معرفة تأثير تلك الاضافة على الخواص العازلية للأغشية المحضرة والمتمثلة بالسعة وثابت العزل الكهربائي الحقيقي والخيالي وعامل الفقد وعامل الجودة والتوصيلية المتناوبة.
ووجد من خلال الدراسة ان إضافة MWCNTS إلى PMMA يغير في الخصائص العازليه لبوليمر حيث تزداد قيمة كل من سعة التوالي وسعة التوازي مع زيادة نسب التطعيم بينما تقل قيمة ثابت العزل الحقيقي مع زيادة التردد وكذلك تزداد قيمة ثابت العزل الخيالي مع زيادة التردد وفي كلا الحالتين تزداد قيم ثابت العزل مع زيادة نسب التطعيم. وعند ملاحظة عامل الفقد فنجد إن سلوك عامل الفقد لايتغير مع زيادة نسب التطعيم و تزداد قيم التوصيليه المتناوبه بمقدار رنيه واحده مع زياده نسب التشويب.

الفصل الأول

مقدمة عامة

الفصل الأول: مقدمة عامة

1-1- المقدمة: Introduction

تخلفت كيمياء وفيزياء البوليمر عن التكنولوجيا بمئات السنين لقد استخدم الإنسان القديم البوليمرات الطبيعية قبل مئات القرون، فقد صنع ملابسه من القطن والصوف والحرير وجلود الحيوانات. واستخدم البوليمرات في طعامه كالزيتون النباتية والشحوم الحيوانية واستعمل الراتنجات الطبيعية كأصماغ ولواصق منذ آلاف السنين كالصمغ العربي والأصماغ الحيوانية والإسفلت الذي استخدم في طلاء القوارب.[1]

لذا ارتبط تطور استعمال الانسان لهذه المواد بتطوره التكنولوجي الذي لم تبرز الصفات المميزة للبوليمرات الا قبل قرن وذلك عندما شهد العالم بدايات القفزات التكنولوجية حيث يعد العالم الالماني (staundinger) اول من وضع اللبنة الاساسية لعلم البوليمر (1920) باقتراحه فرضية الجزيئات الكبيرة ، وافترض وجود الاصرة التساهمية (Covalent Band) في جزيئات البوليمر كما في المركبات ذات الوزن الجزيئي الواطئ . استمرت البحوث والدراسات على هذه المواد ولا سيما خلال الحرب العالمية الثانية حيث كانت الدراسات والبحوث تجرى بشكل مكثف وسريع . حيث ركز العالم (Debye) جهوده حول استطارة الضوء من محاليل البوليمر و (Flory) في جهوده حول لزوجة المحاليل البوليمرية ووضع ميكانيكية للبلمرة على اساس ميكانيكية التفاعلات المتسلسلة. تطورت تكونولوجيا البوليمرات سريعاً بسبب الخصائص الفيزيائية والميكانيكية المتميزة لهذه المواد وبسبب الامكانية العالية للتحوير والتحكم بهذه الخصائص والحاجة الماسة الى بدائل ذات خواص تكنولوجية مختلفة مما بعض المواد التقليدية لذا فانها استخدمت في مجالات واسعة جدا . حيث استخدمت البوليمرات في العديد من الصناعات بدءاً بلعب الاطفال حتى هياكل السيارات والطائرات واستخدمت هذه المواد في التطبيقات الكهربائية لقابلية عزلها الكهربائية العالية ، لحماية التيارات الكهربائية في الموصلات من التسرب وحماية المجالات الكهربائية العالية من الانهيار وكانت خطوط الهاتف من أوائل التطبيقات العلمية المهمة للبوليمرات ، وفي سبيل المثال يمتاز البولي ستايرين PS بالعزل الكهربائي العالي وسهولة القولبة ، كما يمتاز البولي مثيل ميثا كريلات PMMA بالعزل الكهربائي الجيد والمتانة و الصمود ضد تغيرات الطقس ، ويمتاز البولي اثيلين PE بالعزل الكهربائي الجيد والمرونة وهي صفة مرغوبة في العوازل التي تستخدم في صناعة القابلوات المحورية المستخدمة في اجهزة الرادار والتلفزيون . [2]

ظهر علم البوليمرات بعد الثلاثينات من القرن الماضـــي ويبحث هذا العلم عن المواد التي تكون جزيئاتها كبيرة وتتكون نتيجة لأرتباط الجزيئات الصـــغيرة مع بعضـــها كيميائيا وتدعى هذه الجزيئـات المونومير Monomer او الوحـدات البنـائيـة . Structural units تتكون البوليمرات poly mers او ما تسمى ب (الجزيئات الكبيرة) من ارتباط كيميائي بين عدد من المونيمرات مرتبطة ببعضها البعض بشكل مميز و فريد يشبه في تكوينه و شكله السلاسل إلى حد كبير،قد تكون هذه المواد عضويه أو غير عضوية أو عضوية معدنية، وقد تكون طبيعية أو اصطناعية في أصلها.مكونة من سلسلة طويلة يمكن ان تكون هذه السلاسل خطية linear chainاو سلاسل متفرعة branch chain أو سلاسل متشابكة , lerosslink chain و يرجع أصـــل كلمة بوليمر (Polymeros) إلى اللغة الإغريقية حيث تتكون من مقطعين هما بولي [poly] وتعني متعدد والمقطع مير [Mer] تعني الجزء اي تعني متعدد الاجزاء. (3)

وتتميز البوليمرات بـارتفـاع أوزانهـا الجزيئيـة حيث يمكن أن تتروا ح من 1000 إلى أكبر من 100,000 وقد عرفت البوليمرات منذ القدم على هيئة مطاط يستخرج من الأشجار التي سميت آنذاك بالأشجار الباكية (Crying Trees).

وفي عام 1967 تم اكتشـاف السـبائك البوليمرية الشـبكية التداخل Polymer net works Interpenetratingالتي خلقت ثورة صـناعية معاصـرة في مجال تحقيق مبدأ وصـف علم البوليمرات بعلم التفصـــيل Tuyler mode science والذي يعني امكانية خلق أي صـــفة فيزيـائيـة او كيميـائيـة او تقنيـة او تطبيقيـة في اي مـادة بولميريـة من خلال التداخل الشـــبكي للسلاسل البوليمرية والمختلفة في تركيبها الكيميائي حيث دخلت في صناعة الاغشية البولمرية المسـتخدمة في عملية تنقية المياة وتصـفية المشـتقات النفطية وفي صـناعة الاعضـاء وفي المجال الطبي والصـــناعي والزراعي وغيرها . وفي عام 1977 تم اكتشـــاف البوليمريات الموصـــلة الذاتية Polymer intrinsic conducting والتي اخذت طفرة كبيرة في انتاج الصـناعات الالكترونية مثل الترانز سـترات والبطاريات القابلة للشـحن والخلايا الشـمسـية ، وكذلك دخلت في علم الاتصالات كأغشية ماصه للموجات الكهرومغناطيسية وغيرها.

2-1 نبذة تاريخية Brief history

لقد صنفت البوليمرات في القرن الثامن عشرضمن الغرويات لأن الحالة الغروية في ذلك الوقت كانت معروفة بمثابة حالة مستقلة من حالات المادة إضافة إلى حالة السائلة والصلبة، وقد كان ســـبب هذا الاعتقاد الخاطىء أن معظم المواد الغروية تمتاز بأوزانها الجزيئية العالية مقارنة بالمواد الأخرى البسيطة، وبقى هذا المفهوم سائدًا حتى عام (1880) عندما اكتشف راؤولت

Raoultوفانت هوف Vant Hoff طرقًا لتعيين الوزن الجزيئي فقد عين بهذه الطرق الوزن الجزيئي للمطاط الطبيعي والنشا ونترات السليلوز ووجد بأنها تتراوح بين (10000-40000). تعتبر هذه الخطوة الأولى والدوافع التي أدت إلى الاعتقاد بفكرة وجود الجزيئات الكبيرة .ثم جاء بعد ذلك العالم ستودنجر وقدم اقتراحاته:

1- أن هذه الجزيئات العملاقة تتكون تحت ظروف خاصة من ترابط العديد من الجزيئات الصغيرة بروابط تساهمية.

2- وكان ستودنجر أول من اقترح صيغة بنائية للمطاط الطبيعي على شكل سلسلة طويلة متشابكة من وحدات المركب البسيط الأيزوبرين

.وفي البداية قابل اقتراح ستودنجر لفكرة الجزيئات العملاقة باعتراضات شديدة ولكن بعد التقدم الذي تم في تطوير استخدام أشعة إكس في الكشف عن تركيب جزيئات تلك المواد المعقدة وكذلك في ابتكار طرق جديدة لتعيين الأوزان الجزيئية تأكد صحة اقتراح ستودنجر ومنح هذا العالم جائزة نوبل في الكيمياء عام (1953) تقديرًا له عن الكشف عن هذه الجزيئات العملاقة والتي عرفت فيما بعد بالبوليمرات[4] .

وقد ساهم في دعم وإثبات فرضية الجزيئات الكبيرة العالم الأمريكي كاروثرز Carothers الذي يعتبر رائدًا في مجال تصنيع البوليمرات الصناعية حيث قام في عام (1929) بتحضير النايلون الشهير والمعروف باسم نايلون 66 .(nylon 66) وهو بوليمر (البولي هكسا ميثيلين أديب أميد).

1-3-المضافات

أن فكرة استخدام المضافات هي فكرة يعود تاريخها إلى تاريخ استخدام المواد البوليمرية نفسها . فقد كان الغرض الرئيسي هو تغير الخواص الفيزيائية المختلفة : وقد مرت هذه التكنولوجيا بسلسلة من التطورات صممت خلالها العديد من الأدوات التي تقوم بعملية مزج هذه المضافات مع البوليمر (Skothei1986) .

تشمل المضافات الأنواع التالية :

1- الأصباغ المستخدمة في عملية الطلاء
2- الغازات المستخدمة كمواد مصلبة
3- مواد قابلة للتأكسد
4- الملدنات المستخدمة في زيادة مرونة البوليمرات

5- مواد موصلة

أن للمضافات تأثير واضح على الخواص المختلفة للبوليمرات حيث تعمل على زيادة كل من قوة الشد ومعامل المرونة ومقاومة الحك ومقاومة البوليمر للتعرية وكذلك زيادة الصلادة . يتم بناء المواد البوليمرية المركبة من إدخال هذه المضـــافات مع البوليمر نفســـه وبطرق مختلفة حيث تعتمد قوة هذه المركبات على الأواصـر البيئية التي تربط بين أجزاء المركب وفي هذا البحث تم التركيز على اسود الكاربون.

1-4-اسود الكاربون

يعد اســود الكاربون من أهم المالئات التي تعد من احد أصــناف المضــافات ويســتخدم اســود الكاربون بالأساس كحشوه تقوية للمطاط وزيادة صلادته وثباته تجاه الأشعة فوق البنفسجية وكذلك في طلاء الأصـــباغ حيث يكون بها اللون الأســـود مطلوبا وكذلك ما يتمتع به اســـود الكاربون من خاصية التوصيل الكهربائي العالي فان تضمينه مع البوليمرات العازلة قد أضاف بعدا آخر على أهمية المواد البوليمرية في مجال اســـتعمالها في التطبيقات الكهربائية والالكترونية حيث توصـــلت البحوث الحديثة إلى أمكانية الزيادة والتحكم في مدى التوصـــيلية الكهربائية للمواد البوليمرية العازلة (Al chaim 1998)أن أمكانية التوصيل الكهربائي في البوليمرات المتضمنة اسود الكاربون تعود إلى مركبة حاملات الشحنات الحرة والمنتقلة عبر ذرات ومجاميع اسود الكاربون . يمتلك اسود الكاربون خصائص لمنح الشحنة الاستاتيكية وخواص التوصيل لأنظمة البوليمرات المطاوعة للحرارة وقد شاع استخدام المركبات المتضمنة أســود الكاربون في صــناعة الوايرات القابلات كبدائل موصــلة معدنية وبنفس الوقت كحاجب عازل في القابلات ذوات الفولتية العالية , أن من أهم العوامل التي لها الدور الأســاســي والمهم في التأثير على الخصائص الكهربائية للمواد المتضمنة الكاربون هي .

1 : حجم الدقائق المضـافة : - حيث وجد أن المالئات ذوات الدقائق الصـغيرة تؤثر تأثيرا اكبر على زيادة معامل التوصيل الكهربائي من المالئات ذوات الدقائق الأكبر حجما ويعود السبب إلى زيادة مساحتها السطحية والى ضعف قوى الارتباط بينها وبين البوليمر .

2 .درجة مسامية الدقائق : - الشكل الهندسي للدقائق سواء كانت بهيئة مسحوق أو تراكيب طويله أو قرصيه أو غيرها . يتركب اسود الكاربون من دقائق صغيرة تندمج مع بعضها البعض لتشكل تجمعات عقدية وقد تتصل هذه مع بعضها البعض في اغلب الأحيان أثناء انتشار اســـود الكاربون في عملية التصـنيع العقد (Skotheim1986) . أن من أهم العوامل التي تؤثر على

المسـافة بين تجمعات اسـود الكاربون في البوليمر هي حجم الدقائق الأولية ومسـامية الدقائق وتركيب أو شكل التجمعات.

1-5-تركيب المواد البوليمرية Construction of polymer and its (situation)

يقصد بتركيب البوليمر أي تركيب الوحدة المتكررة فيه وهندستها ونوعية المجاميع المعوضة والاواصر الكيميائية التي تؤثر بشكل كبير في الصفات الفيزيائية كالقابلية على المرونة ، أو درجة الانصهار .لتصبح على هيئة سلاسل ممتدة أو متشعبة أو حلقية تتفاعل المونومرات مع بعضها لتكوين البوليمرفي حالة الجزيئات البوليمرية الخطية تتوضع الجزيئات في السلسلة بصورة خطية . [5]

ومع ذلك فإنه من النادر جداً أن تكون هذه الجزيئات خطية بصورة صرفة تماماً حيث يمكن أن تحتوي على بعض التفرعات . والبوليمرات تكون منتظمة فراغيا اذا كانت وحداته الاساسية منتظمة بشكل ما في حيز فراغي ثابت والبوليمر الذي لا ينتظم بهذا الشكل يكون غير منتظم فراغياً . وفي البوليمرات المنتظمة فراغياً توجد تراكيب معينة في سلاسلها هي السز (Cis) والترانس (Trans) فاذا كانت ذرات الكاربون واقعة جميعها في جهة واحدة من المستوى الذي تقع فيه الاصرة المزدوجة فانه نظير السز (cis – Isomer) واذا كانت ذرات الكاربون متبادلة في مواقعها بالنسبة للمستوى الذي تقع فيه الاصرة مزدوجة مرة الى الاعلى واخرى الى الاسفل فيدعى نظير الترانس . (Trans - Isomer) إن أهم عيوب المواد البوليمرية هي قلة تحملها للقوى والحرارة ، وعدم استقرار أبعادها مدة طويلة ، وتدهور خواصها عند تعرضها للظروف الجوية ، ويعزى ذلك إلى تكسر الأواصر الثانوية بصورة بطيئة فتصبح أكثر هشاشة ، ويمكن السيطرة على هذا التأثير باستخدام بعض الإضافات المهمة مثل المواد المزيتية ، والمواد المخففة ، والمواد الملونة .

1-6- تصنيف البوليمرات حسب تركيب سلسلة البوليمرية

1_بوليمرات خطية :(Linear Polymers) تكون السلسلة طويلةً ومستقيمةً كما في مثال البولي إيثلين، هنالك بوليمرات أخرى تندرج تحت هذا التصنيف منها البولي بروبلين (PP)،البولي كلوريد الفينيل (PVC) المعروف باستخداماته في صناعة المواد البلاستيكية المرنة كالمواسير والخراطيم والعبوات البلاستيكية.

2_ بوليمرات ذات سلسلة متفرعة :(Branched-Chain Polymers) في هذه البوليمرات تخرج فروع من السلسلة الخطية .

3_بوليمرات متشابكة :(Cross-Linked Polymers) ترتبط فيها سلسلتان أو أكثر من المونومرات معًا بروابطَ تساهميةٍ أو أيونية .تحدد طبيعة السلاسل الجزيئية بصورة جزئية خصائص البوليمرات ، فعلى سبيل المثال في المادة يتميز التيفلون المعروف كيميائياً بعديد رباعي فلور الإيثيلين (Poly Tertiary Floro - Ethylene PTFE) ، بخصائص عدم الالتصاق ومقاومة الحرارة بسبب وجود ذرات الفلور في جزيئاته لذلك نجده يستخدم في أوعية الطبخ المنزلية . وتعتمد خصائص المواد ليمرية أيضاً بصورة على طريقة تجمع الجزيئات البوليمرية . فهي إما أن تكون مجتمعة بطريقة عشوائية (غير مرتبة) ، أو مرتبة قليلاً أو متكدسة أومصفوفة طولياً أو ممتدة أو مطوية على نفسها أو مختلطة ، وذلك يؤدي للحصول على تراكيب مجهرية متنوعة . تكون الجزيئات البوليمرية في التركيب عديم الشكل مرنة ومجتمعة بشكل عشوائي بدون أي نظام ترتيبي . إلا أن ذلك يعطي مادة متجانسة إلى حد ما . وبصورة عامة تكون البوليمرات عديمة الشكل التي لم تخضع لأية إضافات عبارة عن مواد شفافة مثل عديد الستايرين (Polystyrene PS) وعديد ميتاكريلات مركز البوليمرات المثيل (Poly - Methyl - Metha - Acrylate PMMA) ، وقوارير الماء المصنوعة من عديد إيثيلين تيرفثالات . (Poly - Ethylene Terephthalate PET) إلا أنه أن نلفت النظر إلى أن صفة الشفافية ليست مرتبطة دائما بالخاصية يجب اللابلورية، وبعض البوليمرات تتميز بتركيب بلوري كما في عديد الإيثيلين حيث تنطوي سلاسله الجزيئية الخطية غير المتفرعة على نفسها.

ومن أشكال البوليمرات التي تتمتع بتركيب مميز المواد الرغوية البوليمرية مثل الإسفنج الصناعي ويتم تصنيعها بإدخال فقاعات غازية دقيقة داخل جسم المادة البوليمرية . ومن الأمثلة المعروفة على البوليمرات الرغوية الفرش الإسفنجية المصنوعة من عديد اليوريثان وعديد الإستر حيث يتميز الأول بمرونته (صناعة الفرش) وتتميز الثانية بخصائص عزل جيدة (صناعة البناء) أو بقدرته على امتصاص الصدمات (صناعة التعبئة). كما يمكن ايجاد مواد بوليمرية بتركيب فريد وذلك بخلط أكثر من نوع من البوليمرات للحصول على مواد ذات خصائص جيدة . إلا أن بعض البوليمرات يمكن تنفصل عن بعضها بقوة عند خلطها مما يمنع من الاستفادة من خلطها . لتجنب هذه المشكلة كان بالإمكان جمع مونوميرات هذه البوليمرات كيميائياً في نفس الجزيئة البوليمرية مما يؤدي للحصول على بوليمرات يمكن استخدامها في مجالات تقنية عالية ،

وكمثال على هذه البوليمرات يمكن للجزيء البوليمري التســـاهمي أن يحتوي في نفس الوقت على جزيء الإيثيلين وجزيء البروبيلين حيـث نحصـــل على جزيء إيثيلين – بروبيلين بوليمري.

1-7-بولي مثيل ميثا أكريليك (poly methyl methacrylate) (PMMA)

يعد PMMA من المواد المهمة صناعياً وهو يسمى بالزجاج العضوي (Organic glass) او البرسـبكس (Perspex) والذي يسـتخدم بشـكل واسـع في صـنع الاشـكال الهندسـية و الديكورات وفي البحوث النووية وللاغراض الزراعية واستخدامات اخرى . ويمتاز PMMA بالشــفافية العالية ويعد مادة عالية البلمرة ولدنة حرارياً ويمتاز ايضــاً بالمتانة ويعد أيضــاً من الراتنجات الاصطناعية التي يمكن تلوينها بسـهولة بألوان مختلفة ، وينتج على هيئة شرائح او صـفائح ويعد من البوليمرات القطبية . ويمتاز بخصـائص ضـوئية جيدة ومقاومة عالية لعوامل الطقس وبصـــمود جيد ضـــد الاحماض والقلويات المخففة وكذلك ضـــد تأثير البنزين والزيوت العضـــوية ، ويذوب في البنزول ، التلوين ، الكيســـرول ، الكلوروفورم ، وفي بعض المذيبات الأخرى . ويمكن تعريضه لجميع انواع التشكيل الميكانيكي مثل البرادة والثقب والخراطة . [7] ويسـتعمل لاعداد مفرغات (مضـادات للقوس الكهربائي) مرتفعة الفولتية ويسـتعمل ايضـاً بدلاً من الزجـاج الاعتيـادي لمقـاومتـه للكســـر.و يعـد من البوليمرات المتفرعـة غير المتبلورة والحسـاسـة للاشـعة المؤينة ، وقد يسـبب تشـعيعه تكسـير الاواصـر الكيميائية وتكون جذور حرة نشطة مما يؤدي الى انحلاله (Degardation) وان الانحلال يزداد بوجود الاوكسـجين اثناء التشعيع . ويمكن تقليل الانحلال باضافة بعض المواد المقللة لتأثير الاشعاع له.

الجدول (1-1) يوضح الخواص العامة لل (PMMA)

الوزن الجزيئي	$-3x10^6 1x10^6$
الكثافةgm/cm3	1.19
معامل الانكسارعند الطول الموجي (600nm) وعند(25C)	1.48
قوة التصادم(N/cm)	0.17-0.34
معامل المرونة (MPa)	2240-3240
ثابت العزل الكهربائي عند التردد 10^6وعند 25C	2.5-3
ظل الزاوية الفقدان عند التردد 10^6وعند 25 C	0.017
تاثير الاشعة	لا يتاثر
درجه الانتقال الزجاجي CTg	100
درجة الانصهار CTm	185

8-1 – الاستخدامات

نظرًا لكونها شفافة ومتينة ، تعد PMMA مادة متعددة الاستخدامات وقد تم استخدامها في مجموعة واسعة من المجالات والتطبيقات مثل المصابيح الخلفية ومجموعات الأدوات للمركبات والأجهزة والعدسات الخاصة بالنظارات. كما أنها تستخدم لطلاء البوليمرات على أساس PMMA مما يوفر ثباتًا رائعًا ضد الظروف البيئية مع انبعاثات منخفضة من المركبات العضوية المتطايرة. تُستخدم بوليمرات الميثاكريلات على نطاق واسع في التطبيقات الطبية وطب الأسنان حيث يكون النقاء والاستقرار ضروريين للأداء. يستخدم في طب الأسنان .نظرًا لتوافقها الحيوي ، فإن مادة البولي (ميثيل ميثاكريلات) هي مادة شائعة الاستخدام في طب الأسنان الحديث ، لا سيما في تصنيع الأطراف الصناعية للأسنان والأسنان الاصطناعية وأجهزة تقويم الأسنان. فضلا عن استخداماته اخرى في اللواصق .[8]

9-1 الخواص العازلة للبوليمرات

تلعب الأجهزة المعروفة بالمكثفات العازلة النافذة دورًا محوريًّا في التطبيقات التي تتطلب نبضات طاقة قصيرة ومكثفة، أو تتطلب تحويل تيار مستمر إلى تيار متناوب. تشمل هذه التطبيقات الأنظمة الإلكترونية المستخدَمة في تكامل الطاقة الناتجة من الموارد المتجددة في شبكات الطاقة، والأنظمة المستخدمة في النقل، وأنظمة التسليح العسكرية. حيث تعتمد هذه الأنظمة على مواد عازلة للكهرباء، تُعرف بالمواد العازلة النافذة، ولها عدة أنواع. [9]

تتفوق البوليمرات العازلة النافذة بعدة مزايا على المكثفات الكبيرة، إلا أنها في المقابل ذات حرارة تشغيل منخفضة (أقل من 150 درجة مئوية عادة)، وذات كثافة طاقة منخفضة (وهو ما يعني أن الأجهزة التي تستخدم البوليمرات العازلة النافذة في تشغيلها تكون أحجامها كبيرة). سجل لي وزملاؤه أن المركّب المكوَّن من البوليمر مع رقائق نتريد البورون النانومترية يؤدي إلى تحسُّن في كثافة الطاقة بمقدار 40%، مقارنةً بأفضل البوليمرات العازلة النافذة المتوفرة، إضافةً إلى ثبات حراري واضح عند درجات حرارة تصل إلى 300 درجة مئوية، وهذا ضمن مجال واسع من ترددات المجال الكهربائي.تحقِّق المكثفات العازلة النافذة أعلى معدلات نقل الطاقة (يُطلق عليها معدَّل القدرة، أو قوة القدرة)، مقارنةً بكل أنواع المكثفات. وهي تخزن الطاقة عبر آليات متنوعة للاستقطاب الإلكتروني على المستوى الجزيئي، أو النانوي، حيث تولد هذه الآليات ثنائيات قطبية موجهة، ومجالات كهربائية ثنائية القطب مرتبطة بها . البوليمرات العازلة قادرة على الإبقاء على إزاحتها المستحثة أثناء تنشيطها تحت الجهد

المستمر، وهذا يُعطيها أفضلية لاستخدامها في التطبيقات الآلية. تتميز هذه الأنواع من المواد أيضًا بكثافة طاقة ميكانيكية عالية ويمكن تشغيلها في الهواء دون انخفاض كبير في الأداء.تزداد الاهمية في استخدام البوليمرات في حقل الصناعة الكهربائية كعوازل Insulators يوماً بعد يوم لما يمتاز به البوليمر من قوة العزل العالية ومقاومته لمرور التيار الكهربائي العالي جدا وخاصة استخدامه في المجال الهندسي وفي الصناعات الالكترونية لتثبيت الدوائر الالكترونية وكمواد ساندة لها . ويعتمد اختيار العوازل البوليمرية على شدة العزل والصفات الفيزيائية الاخرى في مدى واسع من درجات الحرارة و تردد المجال الكهربائي[10].

1-10- طرق قياس السمك الأغشية الرقيقة

وتتم بعدة طرق مختلفة اهمها

1-10-1- طريقة الوزن : -

في هذه الطريقة يتم وزن القاعدة المراد ترسيب الغشاء عليها ولتكن [m1] وبعد اجراء عملية الترسيب باستخدام احدى طرق تحضير الاغشية الرقيقة ، يتم قياس الوزن مرة أخرى وبوجود المادة ولتكن [m2] وان الناتج النهائي بين الوزنين يمثل كمية المادة المترسبة على القاعدة الزجاجية [m] ومن معرفة كثافة المادة المتبخرة [ρ] او كثافة المواد الداخلة في تحضير الاغشية الرقيقة [ρtotal] يتم حساب السمك بأستخدام العلاقة رقم (1):-

$$t=\frac{m}{2\pi R2\rho}$$

t : سمك الغشاء الرقيق

ρ : كثافة الماده

m : كتله الماده

R: نصف القطر

2-10-1 - طريقة التداخل الضوئي :

هنالك عدة طرق تستخدم فيها مبدأ تداخل الضوء لقياس سمك الاغشية الرقيقة بصورة دقيقة و احدى هذه الطرق هي ابعاد الاهداب الناتجة من التداخل والتي استخدمت من قبل الكثير من الباحثين حيث تستخدم سطوح عاكسة جيدة للحصول على اهداب حادة وواضحة وتسمى هذه الاهداب بأهداب FIZEN باستخدام ضوء احادي الموجة وتم تبخير طبقة عاكسة من الالمنيوم بسمك اكبر [A 100] . تغطي الغشاء المراد قياس سمكة وجزء من الأرضية المبخر عليها

الغشاء ثم تبخر طبقة واخرى من الالمنيوم على ارضية ثابتة بسمك يسمح لجزء من الضوء بالعبور ويعاكس الجزء الآخر منها . والصفيحة الضوئية توضح فرق الغشاء المراد قياس سمكة بحيث ان فجوة الهواء بينهما تكون اصغر ما يمكن وبذلك نستطيع الحصول على اهداب واضحة وحادة عند تسليط ضوء الصوديوم بصورة عمودية على الغشاء وبأستخدام المايكروسكوب المثبت على حزمة ذو قدرة قياسية تساوي(0.0002 em) ومن قياس عرض الهدب (s) والمسافة بين هدبين متتاليين هو(s ס)

نستطيع ايجاد سمك الغشاء (t) بأستخدام العلاقة التالية رقم (2) : -

$$t=\frac{\sigma s}{s\lambda/2}$$

من معادله رقم (2)

t: سمك الغشاء

s : عرض الهدب

σ: المسافه بين الاهداب

λ: الطول الموجي

1-10-3-طريقة المرقاب البلوري

اساس عمل هذه الطريقة يبني على أساس قياس التغير في التردد الرنيني لتذبذب بلورة الكوارتز مع ما يتجمع عليها من كتلة المادة المتبخرة فعندما تتجمع المادة المتبخرة على احد او كلا سطحي البلورة يحدث ازاحة في تردد الرنين نسبة الى السمك والكثافة نتيجة لاضافة المادة المستمرة اثناء التبخر.

1-10-4-طرق امتصاص الاشعاع وانبعاث الاشعاع

ان اعتماد السمك على امتصاصة للضوء واشعاع كاما واشعة الفا وبيتا يمكن ان يحلل بايجاد السمك وسمك توزيع الغشاء وتكون العلاقة بينها اسية استطارة و وامتصاص (اشعة x) واشعة الفا واشعة بيتا المنبعثة من النظائر المشعة يمكن ان يستخدم لقياس السمك . فالسمك اقل من(100 A-1mm)يمكن قياسة بأستخدام اشعة الفا وبيتا . كما ان مصادر الالكترون يمكن ان يحضر بالكترونات سريعة لدراسة الامتصاص من حيث اقصى سمك بحدود الاف الانكستروماات للالكترونات

(100 -1kev) .

و هذه التقنية مفيدة عمليا للاغشية الرقيقة للمواد العازلة اذا شععت المادة المتبخرة فأن النشاط الاشعاعي الغشاء المرسب سوف يتناسب مع سمكة واستعملت هذه الطريقة على اغشية (CF، Aul198 ، BI 210)كذلك تعتبر طريقة انبعاث (اشعة X) من الطرق المهمة والمفيدة اتلافية لقياس كتلة مركبات الغشاء ومن ثم سمكة ومركباتة الكيميائية.

5-10-1 – الطرق الكهربائية

ا- مقاومة الغشاء :

وهي طريقة سهلة لقياس سمك الغشاء وقياسة للغشاء المعدني ولاغشية اشباة الموصلات ذات المقاومة النوعية القليلة حيث ان مقاومة الغشاء لها علاقة مع سمك الغشاء ومتوسط المسار الحر بشحنات الحوامل والعلاقة المتوقعة نظرياً ربما تكون علاقة تجريبية تربط بين المقاومة النوعية والسمك للاغشية المتعددة البلورات ويتم ايجادها بالتجربة وتستخدم لمعرفة سمك الغشاء المشغول والمسئلة تكون أكثر تعقيداً في الاغشية الرقيقة جداً والتي يكون سمكها اقل من (° 100A) لذلك لايمكن الاعتماد على هذه الطريقة عند هذا السمك والمقاومة النوعية تكون حساسة جدا لظروف الترسيب لذلك فأن طريقة المقاومة تكون مقاربة لمقارنة سمك الغشاء أكثر مما هي قياسات مطلقة والطريقة الاوسع استعمالاً لقياس المقاومة او المقاومية التي تتراوح قيمتها Ω.cm (10.3-103)

هي طريقة المجس ذو اربعة نقاط الواقعة على استقامة واحدة والمتناوبة المسافة بينها . فاذا كان(I)يمثل التيار المار بالنقاط الخارجية و(V) فرق الجهد بين النقط الداخلية والتي تبعد كل عن بعضها البعض بمسافة[S]

فأن المقاومية تعطى بالعلاقة التالية(3) :-

$$Po=\frac{2\pi sv}{I}$$

عند النماذج الرقيقة اي عندما نبسط

تصبح T<<5\2العلاقة

or

$$t=\frac{4.53v}{I}$$

وتسمى مقاومة الغشاءsheet resistances

حيث ان :

v: فرق الجهد بين لنقاط الداخليه

I : تيار المار بالنقاط الخارجية

S: المسافه

P: مقاومة الغشاء

ب- مرقاب المتسعة :

تستخدم لقياس سمك الاغشية الرقيقة للمواد العازلة مباشرة لقياس السعة الكهربائية باستخدام قنطرة المتسعات وتصنع صفيحة مرقاب المتسعة من ترسيب اغشية من الالمنيوم ثم معاملتها ضوئياً ليصبح شكلها يشبة المشط فاذا بخرنا غشاء اوكسيد السيليكون بسمك (m 10) فان السعة تزداد بمقدار [13-5] كما يمكن قياس معدل التبخير مقياس تغير سعة الصفائح المتوازية نتيجة تغير ثابت العزل بسبب وجود بخار المادة المبخرة .وهذه الطريقة حساسة جداً وتحتاج الى عناية ودقة في القياسات .

11-1 -الدراسات السابقة Literature Review

1-1_11_1 دراسات سابقة عنPMMA

1_قام الباحث (Zuidam et al)عام 2000 في استخدام PMMA في تكثيف الأحماض النووية عن طريق التفاعلات الأيونية تتناسب خاصية تكثيف الحمض النووي لـ PMMA بشكل مباشر مع وزنها الجزيئي ، الوزن الجزيئي المنخفض لـ PMMA له قدرة تكثيف منخفضة.

2_قام الباحثان (Breusch and Kuhn)عام 2003 في استخدام PMMA بشكل أساسي في مجال طب الأسنان .

3_قام الباحث (Kuehn et al)عام 2005في تشكيل PMMA المعالج على البارد ، والذي يتصلب في درجة حرارة الغرفة.

4_قام الباحثان(Pielichowski and Njuguna)عام 2005في استخدام PMMA في معالجة العيوب الأنسجة القحفية مثل الجلد والأطقم الاصطناعية .

5_قام الباحث (Kent et al)عام 2006 في تطبيق PMMA كنظام توصـــيل الأدوية في الموقع للمضـــادات الحيوية في التجاويف التي تنتجها التهاب العظم والنقي وهي عملية معدية شديدة يصعب استئصالها.

6_قام الباحث (Aboulafia et al)عام 2007في استخدام PMMA في العديد من التطبيقات مثل ملء تجاويف العظام الكبيرة الناتجة عن الاستئصال الجراحي للورم ، يضمن PMMA استقرارًا ميكانيكيًا طويل الأمد وتوافقًا مع العظم المتلقي.

7_قام الباحث(Pitton et al)في استخدام PMMA في جراحة العمود الفقري. باستخدام تقنية رأب العمود الفقري ، يمكن استعادة جسم الفقري المسحوق إلى حجمه الأصلي ويمكن ملء مساحته الداخلية بأسمنت PMMA لضمان القوة الميكانيكية.

8_قام الباحث A. MEROLLI عام 2009باستخدام PMMA في مواد إصـــلاح العظام الحيوية.

9_قام الباحث Inphonlek et alعام 2010 بتصنيع الجسيمات النانوية المصنوعة من نواة الميثاكريلات والكيتوزان وقشرة PEI عن طريق بلمرة المستحلب لتحسين توصيل DNA البلازميد في الجسم الحي.

10_قام الباحثان (Jessy and Ibrahim) عام 2014. في اســتخدام PMMA في التطبيقات التي تتطلب هياكل دائمة ومستقرة ميكانيكيًا مثل تجديد أنسجة العظام.

11_قام الباحث(Loczenski Rose et al)عام 2015 بتحسين قدرة تكثيف PMMA عن طريق إضـــافة الفوســـفونيوم المحتوي على مونومرات ميثاكريلات (عند نســبة N / P أقل) مقارنة بنظائرها من الأمونيوم .

12_قام الباحث كومار ماهاتو عام 2017 بأستخدام PMMA في المواد الحيوية الشاملة.

2_11_1 -دراسات سابقه عن MWCNTS

1عام 1992تم قيام بأول عملية إنتاجٍ للأنابيب النانوية الكربونية المجهرية في معمل الأبحاث الرئيسي التابع لشركة .NAC

2_عام 2000 تم اختبار أنبوب نانوي كربوني متعدد الجدران بهدف الحصـــول على درجة مقاومته للشد التي وصلت إلى 63 جيجا باسكال (9100000 رطل / بوصة مربعة) .

3_عام 2003أقْتُرِحَ تركيب الأنبوب النـانوي الكربوني مزدوج الجدران على مقياس الغرام لأول مرةٍ في بواسطة تقنية الترسيب الكيميائي للبخار بالاشتعال.

4_عام 2004 تم دمج أول أنبوب نانوي في دارةٍ للذاكرة . وأن واحداً من التحديات تمثل في تنظيم قدرة الأنابيب النانوية على التوصـيل. وبالاعتماد على الخصـائص السـطحية الفريدة للأنبوب النانوي.

5_عام 2007، قام فريقٌ من جامعة ميجو بإجراء عملية ترسـيب كيميائية للبخار عالية الكفاءة من أجل إنماء الأنابيب النانوية الكربونية من الكافور.

6_عام 2009 تم تصنيع أطول أنابيب نانوية كربونية (بطول وصل إلى 18.5 سنتيمتراً) . حيث تم تنميتها على ركائز السيليكون(Si substrates) بواسطة استخدام طريقة ترسب كيميائي للبخار .و في نفس العام تم تركيب أقصـر أنبوب نانوي كربوني من مركبًا حلقيًّا من البارافينيلين العضوي.

7_تم تركيب أعلى كثافة من الأنـابيب النـانوية الكربونية عام 2013، ونمت على موصـل التيتانيوم المغلفة بطبقة سطحية من النحاس.

1-12-الهدف من البحث The Aim of work

يهدف البحث إلى تحضـير أغشـية بوليمرية عازلة من مادة PMMA بعد تطعيمها بالكاربون نانو تيوب MWCNTS وبنسـب وزنية مختلفة %(0,5,10) ودراسـة مدى تأثير تلك النسـب على الخصـائص العازلية لها وبترددات مختلفة والمتمثلة بدراسـة كل من السـعة وعامل الفقد وعامل الجودة والسماحية بجزيئها الحقيقي والخيالي والتوصيلية المتناوبة.

الفصل الثاني

الجزء العملي والتحضير

2-1-المقدمة Introduction

يتناول هذا الفصل دراسة عامة عن آلية تحضير الأغشية الرقيقة وطرق التشخيص لها .حيث شخصت تلك الأغشية باستعمال مطياف الأشعة تحت الحمراء(FT-IR) لمعرفة تكوين الاواصر بين الذرات وكذلك لمعرفة المجاميع الفعالة لها .كذلك شخصت باستخدام تقنية مجهر القوة الذرية (AFM) لدراسة خشونة السطح وحجم و توزيع البلورات لأغشية الرقيقة .أما تضاريس السطح فيتم تشخيصها عادة باستخدام جهاز المجهر الالكتروني الماسح(SEM) بالأضافة ألى الاجهزة المختبرية الاخرى كالميزان الحساس والمازج الكهربائي.أما دراسة خصائص العزل الكهربائي(الخواص العازلية) لاغشية الرقيقة فقد تمت باستخدام جهاز قياس العازلية (RLC) وتحت ظروف درجة حرارة المختبر.

2-2- تهيئة قواعد الصب

تم تهيئة قواعد الصب وذلك بغسلها جيداً بالمنظفات والماء المقطر وبعد ذلك بالاسيتون ومن ثم تجفيفها بالفرن الكهربائي ووضعها بصورة أفقية وعدم تحريكها لكي تصبح جاهزة لسكب المحلول عليها بالتجانس .

وكذلك تم تحضير ادوات تحتاج إلى استخدامها عند تحضير المحلول سواء كان مخفف ام مركز وهما: البيكر الزجاجي والقمع وكذلك الشريحة وايضا تمت عليها عملية التنظيف كما في السابق.

2-3-عملية الأذابة والتشويب

تؤدي عملية اختيار المذيب المناسب وإذابة البوليمر دوراً رئيسياً في العديد من التطبيقات الصناعية في مجموعة متنوعة من المجالات ، وهي إحدى أهم المعاملات لتحسين التصميم وطرق التصنيع . تمت عملية الإذابة للبوليمرات وحل المادة المالئة المستخدمة في هذه الدراسة باستخدام المازج االكهربائي

.وتمت العملية بحسب الخطوات الآتية :

1-تم إذابة (0.1 gm) من البوليمر (PMMA) في (10ml) من (DMF) بتركيز (1mg/10ml).

باستخدام المازج الكهربائي بدرجة حرارة 50°C ولمدة ساعتين.

2-تم حل ((0.01 mg) من دقائق الكاربون النانوية (MWCNTS) الخاصة بتشويب البوليمر PMMA بـــ (50ml) من DMF بتركيز(0.2mg/ml) باستخدام المازج الكهربائي بدرجة حرارة المختبر ولمدة

(120° C) دقيقة• .

3_تم تشويب PMMA بدقائق الكوريون النانوية(MWCNTS) وبنسب وزنية مختلفة

(0% ,5%,10%).

4_ صب الناتج على قواعد من الألمنيوم وتهيئتها لغرض دراسة خصائصها العازلية.

4-2 -التشخيص

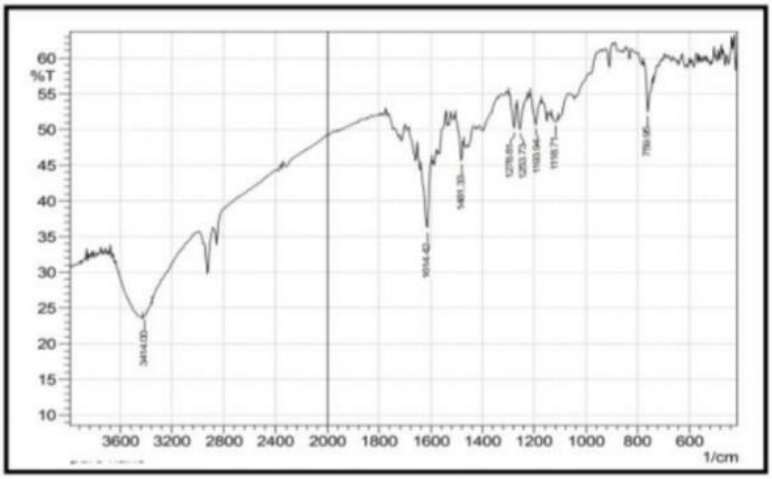
1-4-2 -جهاز قياس طيف الاشعة تحت الحمراء(FTIR)

يستعمل مطياف الأشعة تحت الحمراء Infrared Spectrophotometer في تحديد المجاميع الفعالة في البوليمرات ، والتي تعد طريقة جيدة للكشف عن نوعية الأواصر الرابطة بين الذرات أما أن تكون ضعيفة كما هي في حالة C - H أو C - C ومن ثم فان الاهتزاز يكون على هيئة إمتطاط Transfor Fourier (Stretching) والتي تظهر عند الترددات الواطئة بسبب ضعف قوة الأصرة ، أما في حالة الأواصر القوية مثل C - O أو C=C فان الأواصر المهتزة تكون منحنية (Bending) وتظهر عند الترددات العالية بسبب قوة هذه الآصرة ويعبر عن مواقع الحزم في الأشعة تحت الحمراء بالعدد الموجي وتقاس بوحدة (cm^{-1}) ، يعبر عن شدة الحزمة أما بالنفاذية T أو الامتصاصية A .

شخصت المجاميع الفعالة ل (MWCNTS)باستعمال جهاز (FT - IR - 88400)في قسم الكيمياء والموضح في الشكل (2_1) وذلك بكبس كمية قليلة من المادة تحت ضغط معين .والشكل (2_2) يبين المجاميع الفعالة لأنابيب الكاربون النانوية متعددة الجدران (MWCNTS) اذ توجد قمة واسعة عند العدد الموجي 3414 cm وتدل على مجاميع O_H لسطح(MWCNTS) وهذا بسبب الرطوبة. أما القمتين

1614.42 cm و1118.71 cm فتدل على وجود الاصرة C=C,C_C في MWCNTS على التوالي.

شكل(2_1) يوضح جهاز طيف الاشعة تحت الحمراء



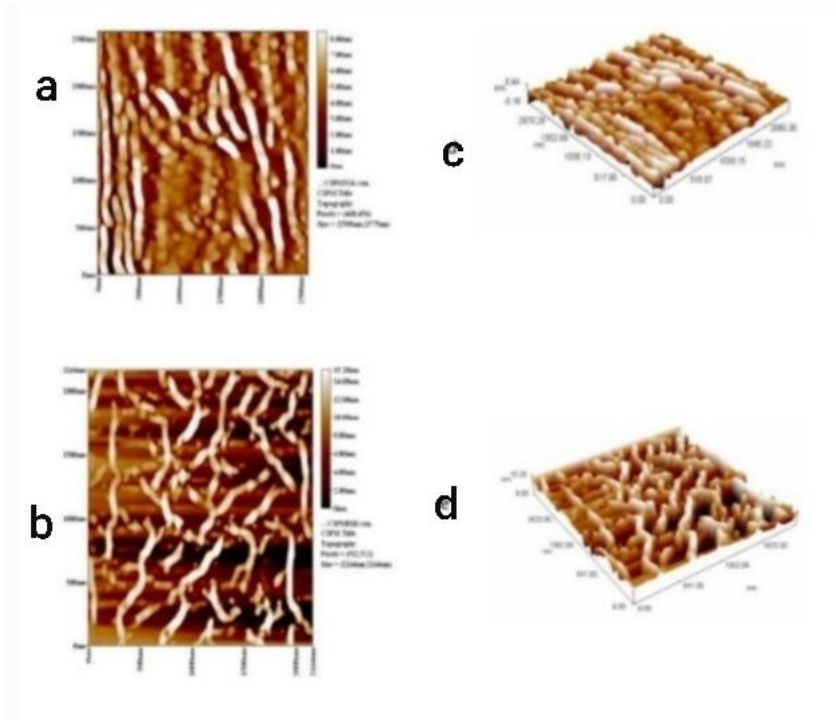
شكل (2_2)طيف الاشعة تحت الحمراء لمجاميع MWCNTS

2_4_2-مجهر القوة الذرية (Atomic force microscope) (AFM)

مجهر القوة الذرية هو جهاز يستخدم في مجال تقنية النانو لدراسة خشونةالسطح .تم فحص طبيعة السطح وحجم وتوزيع البلورات للأغشية الرقيقة وتشخيصها لأغشية البوليمر PMMAالنقية والمشوبة بالنسبتين

(5 % , 10 %) بدقائق الكاربون النانوية (MWCNTS) لمعرفة تأثير التشويب على هذه الصفات ، باستخدام جهاز مجهر القوة الذرية . وبين الجدول (2_1) النتائج المستخلصة من هذه الفحوصات. نلاحظ من الشكل (2_3) أن الأغشية تحتوي على تراكيب حبيبية مترابطة وخشونة السطح تزداد مع زيادة نسب MWCNTs في التراكيب من 1.88 nm في نسبة %

0 إلى 15.20 nm في نسبة % 10 من MWCNTs نستطيع أن نفسر هذه الزيادة لكون PMMA يتأثر بأضافة MWCNTs إذ أن أنابيب الكربون النانوية قد تفرقت تماماً وتكوين سطح خشن وهذا يكون واضحاً في صور (AFM)كما يلاحظ تشكيل الذرات على هيئة الياف نانوية مصطفة ومتشابكة . ويتضح من هذه النتائج ان غشاء البوليمر PMMAهو غشاء شبه بلوري ، وبمقارنة بسيطة بين النتائج تبين خشونة السطح .



الشكل (2_3) يوضح(AFM) لاغشية المحضرة

بنسب تشويب (10%,5%)(1)b,aفي 2 D و(2)c,d في 3D

الجدول (2 -1) يبين النتائج المستخلصة من الفحوصات AFM النماذج المحضرة.

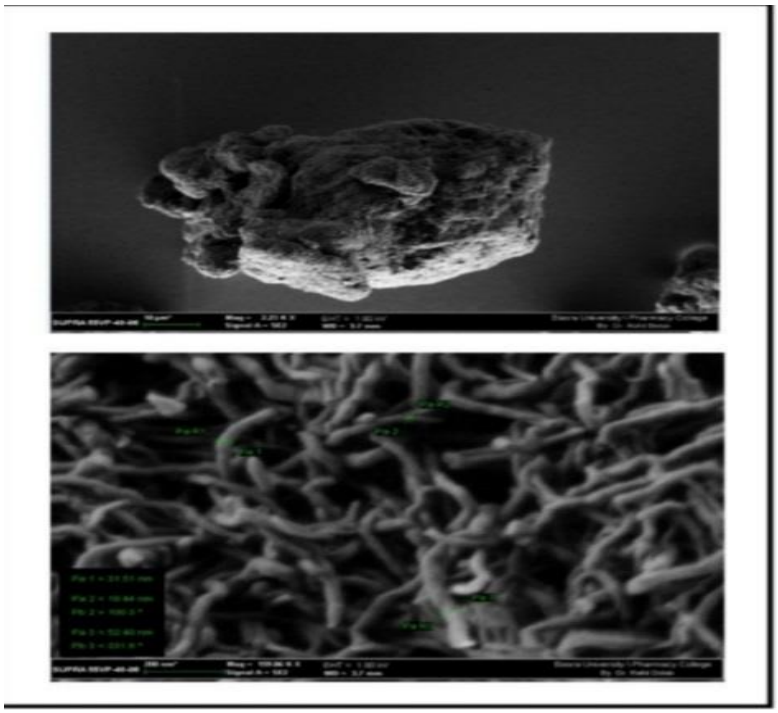
Sample/property	Pure PMMA	PMMA CNPS 5%	PMMA CNPS 10%
Rough.Avg.(nm)	1.77	1.02	2.24
GrainNO.	173	282	213
Avg.Diameter(nm)	84.93	49.69	57.88

3-4-2 _التشخيص بجهاز المجهر الالكتروني الماسح (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM)

مجهر الالكتروني الماســح هو نوع من أنواع المجاهر الإلكترونية التي تنتج صــور عينية عن طريق مسح مع شعاع مركز من الإلكترونات. تتفاعل الإلكترونات مع الذرات في العينة، وتنتج إشــارات مختلفة تحتوي على معلومات حول تضــاريس الســطح وتكوينه. يتم مســح شــعاع الإلكترون بشكل عام باستخدام المسح النقطي ويتم الجمع بين موقع الشعاع مع الإشارة لإنتاج صورة.إن أسلوب المجهر الإلكتروني الماسح الأكثرشيوعًا هو الكشف عن الإلكترونات الثانوية المنبعثة من ذرات مثارة بواســطة شــعاع الإلكترون.الشــكل (4_2) يوضــح صــورة لأنابيب الكربون النـانوية والتي تظهر بأنـه لهـا الميل على التكتل وهذه الصــفة تعمل على عدم نقل الخصائص رئيسية مثل (التنقل الالكتروني ،التوصيل الحراري) لأغشية المحضرة .

ممـا يؤدي إلى تقليـل قوة فـانـدر فـالز بين(PMMA)مع انـابيـب الكربون النـانويـة (WMCNTS) والحـل الوحيـد هو دمج (nano composite)ومنعهـا من التكتـل ويمكن إدخالها في مصــفوفة مرنة للبوليمر باســتعمال تقنيات الخلط الميكانيكي أو اختلاط المحاليل أو بتقنية المزج بالموجات فوق الصوتية.



الشكل (2-4) يوضح صور FESEM ل MWCNTS

2-4-4-الميزان الحساس

هو جهاز يستخدم لقياس وزن المواد ذو المرتبة بعد الصفر والدقة حساسيتة العالية يوضع في صـندوق من الزجاج المحكم .يتم التحكم به بطريقة يدوية وذلك لمنع تعرضــة للهواء لان تأثير الهواء يؤدي الى عدم الدقة في قراءة الميزان.

تم قياس اوزان المواد المسـتخدمة في تحضـير النماذج باسـتخدام الميزان الحسـاس ذو اربع مراتب بعد الفارزة والموضـــح في الشـــكل (2-5) وتتم معايرته قبل كل عملية قياس وان الحد الاقصى لقياس أوزان المواد في هذا الميزان هو (25g) .

الشكل(2_5) يوضح الميزان الحساس .

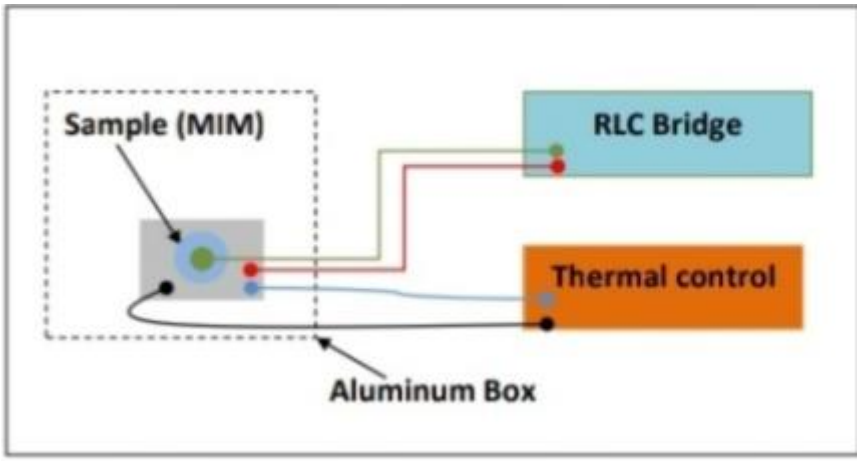
2-4-5 -جهاز المازج الكهربائي (Hotplate Magnetic Stirrer)

هو جهاز يستخدم لمزج وتجانس المواد المراد تحضير الأغشية (PMMA)بعد اذابتة بالماء المقطر او اي مذيب حسب نوع المادة المستخدمة حيث انه لكل مادة مذيب خاص بها أو أي مواد اخرى مطلوب تحضيرها وتستخدم فيه تقنية التسخين والمزج في أن واحد.كما موضح في الشكل التالي:

الشكل (2-6) يوضح جهاز المازج الكهربائي

2-4-6-جهاز قياس العازلية(RLC)

استخدمت دائرة القياس المكونة من المنظومة الحاسوبية FLUKE PM6306 Programmable Automatic RLC METER ذات المنشأ الألماني ، وخلية القياس الحرارية للسيطرة على درجة حرارة النموذج بدقة عالية ، والموضحة بالشكل (2_7) ، لقياس الخواص العازلية للتركيب (MIM) في ترددات مختلفة(1KHZ-100KHZ) لجميع النماذج المحضرة في الظلام و بدرجة حرارة الغرفة .



الشكل (2-7) يوضح جهاز قياس الخواص العازلية(RLC)

الفصل الثالث

النتائج والمناقشة

الفصل الثالث: النتائج والمناقشة

3-1- المقدمةIntroduction

في هذه الدراســة تم دراســة بعض الخواص العازلة للبوليمر بولي PMMAالمطعم بمادة MWCNTSوبنسـب وزنية(10%,5%,0%) حيث حضـرت الأغشـية باسـتخدام طريقة الصب وتمت معالجتها حراريا ومن ثم ترسيب الأقطاب بأستخدام طريقة التبخير تحت الضغط المخلخل (10^{-4}) وقد تم قياس بعض البارمترات باســتخدام دائرة الخصــائص العازلية وبترددات مختلفة بالاعتماد على درجة الحرارة مثل متســعة التوازي ومتســعة التوالي والسماحية بجزئيها الحقيقي والخيالي اضافة الى عامل الفقد.

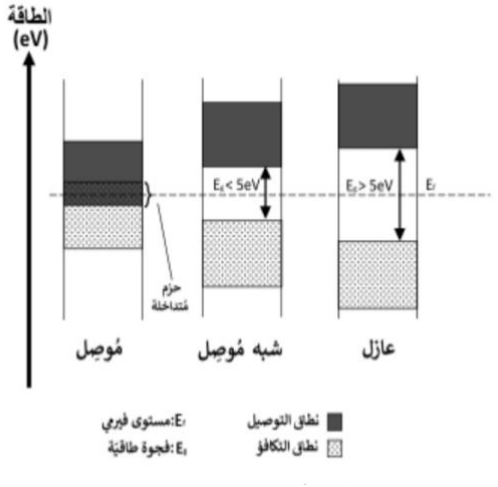
3_2_الجانب النظري

تتباين طرق قياس خواص العزل عند مديات الترددات المختلفة حيث يوجد هناك نوعان من طرق القياس التقنية الاولى تسمى طريقة الدائرة التوزيعية (Distributed) وتستخدم عادة عندالترددات العالية حيث عند تلك الترددات يكون الطول الموجي للموجة الكهرومغناطيســية مقاربا الى ابعادالنموذج لذلك يصبح النموذج وسطا شفافا للموجة ويعتمد عندئذ ثابت العزل (ε1) وفقد العزل (ε2) للنموذج على قياس الثوابت الضــوئية كمعامل الامتصــاص (Absorption coefficient) ومعامل الانكسار (Refractive index)

اما التقنية الثانية التي تقاس عندها الخواص العازلية عند الترددات الواطنة تســمى الدائرة التحملية (Lumpedcircuit) وتتضـمن بتمثيل البوليمر بدائرة كهربائية أسـاسـية مكونة من متســعة ومقاومة مربوطتان على التوالي او التوازي. لقد اثبتت الدراســات العملية والنظرية ان تمثيل البوليمر بمقاومة ومتســعة مربوطتان على التوازي يكون ملائما عند الترددات الواطئة.

ان انتقال الشــحنات في المواد العازلة اصــبح لها اهمية كبيرة في الاونة الاخيرة لأنها توفر معلومات عامة عن التركيب الالكتروني لهذة المواد ، وجرت دراســات عديدة حول الخواص الكهربائية ووضعت لهذا الغرض نماذج عديدة لمعرفة الية التوصيل الكهربائي وبينت التجارب بانة هناك نوعان من ناقلات الشــحنة هما الالكترونات والايونات كما ان هناك اليات مختلفة يمكن بواسطتها ان تنتقل ناقلات الشحنة في العازل تحت تأثير المجال المسلط .

ان المواد العازلة تختلف عن المواد الموصلة وشبة الموصلة حيث ان حزم التوصيل تكون خالية تقريبا من الالكترونات الطليقة ومن الممكن أيضا ان تحتوي على الكترونات طليقة الا إن هذه الالكترونات تقع ضمن جزر موصلة تفصل الواحدة عن الأخرى مناطق عازلة خالية من الالكترونات ولهذا لايمكن لتيار كهربائي أن يسري عند تسليط مجال كهربائي لانة حركة الالكترونات لايمكن ان تتعدى بضع جزيئات من المادة . وعلى الرغم من محدودية حركة الالكترونات وعدم سريان تيار في المادة فأنه لهذه الحركة المقيدة أهمية كبيرة في تحديد خواص العزل في المادة.



الشكل (3-1) يوضح حزم الطاقة بين مواد موصلة وشبه موصله والعازلة

فعندما يكون الجهد المسلط على المادة العازلة متغير مع الزمن ينشأ تيار متغير ، و بذلك يمكن تمثيل المادة العازلة بدائرة كهربائية تدعى الممانعة ، والممانعة ناتجة من مقاومة و متسعة مربوطتان على التوازي تمثل طبيعة تلك المادة . تكون جزيئات العازل اما جزيئات غير قطبية (non - polar molecules)إي عندما تكون مركز الشحنات السالبة لهذة الجزيئات منطبقة على مركز الشحنات الموجبة ولكن عندما تقع هذه الجزيئات تحت تأثير مجال كهربائي خارجي فان الشحنات الموجبة سوف تزاح باتجاه المجال بينما تزاح الشحنات السالبة لهذه الجزيئات باتجاه المعاكس أو جزيئات مستقطبة تمتلك عزم ثنائي قطب دائم permanent) (dipole momentإلا أنة عزوم هذه الجزيئات عشوائية ولكن إذا وضعت تحت تأثير مجال كهربائي خارجي متناوب اصطفت باتجاه المجال.

يمكن تمثيل السعة بالمعادلة التالية :

$$\varepsilon 1=\frac{Cp}{C0} \text{ او } =\frac{Cd}{\varepsilon oA} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

حيث C0 سعة المتسعة بوجود الهواء بين قطبيها

بينما يتحدد فقد العزل من العلاقة التالية :

$$\varepsilon 2=\frac{dpG}{A\varepsilon o\omega} \text{ او } \frac{1}{R\rho CoW} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

اما عامل الفقد (tanδ)يخضع للعلاقة التالية

$$\tan\delta=\frac{\varepsilon 1}{\varepsilon 2}\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

اما عامل الجودة (Q)يخضع للعلاقة التالية:

$$Q=\frac{1}{tan\delta} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

ان التوصـيلية المتناوبة في العازل هي مقياس للحرارة المتولدة نتيجة لدوران ثنائيات الاقطاب وتعتمد على قيمة التردد.

$$\sigma=W\ \varepsilon o\ \varepsilon \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(5)$$

حيث (εo)سماحيةالفراغ و(ε) سماحية الوسط .

وعند الترددات الواطئة تتكون من مركبتين .

$$\sigma=\sigma ac+\sigma dc \quad \ldots\ldots\ldots(6)$$

$$\sigma ac=2\pi f\varepsilon o\varepsilon 1\tan\delta \quad \ldots\ldots\ldots(7)$$

في هذة الدراسة فقد تم تحضير العينة البولمرية التي كانت بشكل متسعة ذات الألواح المتوازية من الالمنيوم المرســـب بطريقة التبخير وقد تم معايرة الســـلوك الكهربـاني للبوليمر بدائرة كهربائية متكونة من مقاومة (Rp)ومتســعة (Cp) مربوطة على التوازي باســتخدام الدائرة التحملية (Lamped circuit) كما موضـــحة بالشـــكل (3-2) وقد تم قياس كل من متســـعة التوازي (Cp)والسـماحية بجزيئها الحقيقي (ε1)والخيالي(ε2)وعامل الفقد (tanδ)و عامل

الجودة (Q)والتوصـــيلية(σ) عند تردد ثابت مقداره (1 KHZ) وتم تفســـير النتائج وبيان علاقتها مع السلوك الجزيئي للبوليمر المشوب.

خواص (العزل – التردد) عند درجات الحرارة المختلفة :

ثابت العزل وفقدان العزل من الخواص الفيزيائية المهمة التي تحدد خواص المادة العازلة .ويعد ثابت العزل من الصفات المايكروسكوبية لاستقطاب العازل عند تعرضه للمجال الكهربائي والتي ترتبط بعزم ثنائي القطب بالعلاقة التالية:

$$Er=1+4\pi\frac{p}{E} \quad \text{.....(8)}$$

حيث ان :

P:تمثل عزم القطب الثنائي

E:شدة المجال الكربائي

8- اما السماحية العازل بصيغتها المعقدة فتكتب :

$$\varepsilon r^*=\varepsilon 1=i\varepsilon r2 \quad \text{.....(9)}$$

حيث ان :

εr1:تمثل الجزء الحقيقي ويطلق عليها ثابت العزل .

εr2:تمثل الجزء الخيالي ويطلق عليها فقدان العزل

9- ومن دون الخوض في الاشـــتقاقات والرجوع الى العديد من المصـــادر فلقد تم حســـاب ثابت العزل εr1من المعادلة التالية :

$$\varepsilon r1=\frac{dc}{A\varepsilon o} \quad \text{.....(10)}$$

حيث ان :

c : قيمة متسعة النموذج (PMMA) عند ترددات معينة.

d : سمك النموذج .

εo : سماحية الهواء. εo =8.85*10F/m

A : مساحة الاقطاب

10- اما لحساب فقدان العزل فلقد استخدمت المعادلة التالية:

$$\varepsilon r2 = \frac{1}{RCo\omega} \quad \ldots\ldots\ldots(11)$$

حيث ان :

$$Co=\varepsilon o\frac{A}{L} \quad \ldots\ldots\ldots(12)$$

اذ ان :

ω: التردد الزاوي $\omega=2\pi F$ =

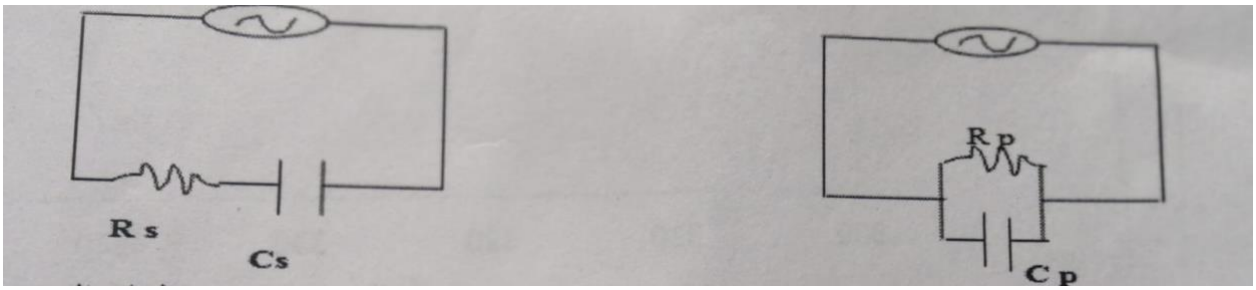
R: مقاومة النموذج(PMMA)

3_3_النتائج العملية

تم تحضير أغشية من البوليمر بولي PMMA المشوب بمادة MWCNTS وبنسبة وزنية (10%,5%,0%) باستخدام طريقة الصب وذلك لسهولة هذة الطريقة وإمكانية الحصول على أغشية ذات سمك مختلف حيث تم إذابة (0.5g) من البوليمر PMMAوالمطعم ب MWCNTS حسب النسب الوزنية المحددة في (5ml) من مذيب الاسيتون النقي ثم مزج الخليط في جهاز المازج الكهربائي

(Hotplate magnetic stirrer) لحين الحصول على محلول متجانس يحفظ بعدها في مكان جاف ثم يصب على قواعد من الألمنيوم يتم تنظيف قواعد الألمنيوم قبل عملية الصب باستخدام مذيب الأستون ويغسل بعده بالماء المقطر . توضع القواعد الألمنيوم على سطح مستوي أفقي بعد صب محلول البوليمر .المشوب عليها ولغرض تبخير المذيب تترك لمدة 48 ساعة وبدرجة حرارة المختبر ولغرض معالجتها حراريا وضعت في فرن حراري وبدرجة (°C 30) ولمدة ثلاث ساعات مع التحريك المستمر . وبعد عملية الصب والمعالجة الحرارية تم ترسيب الأقطاب من الألمنيوم وباستخدام جهاز التبخير تحت الضغط المخلخل (torr

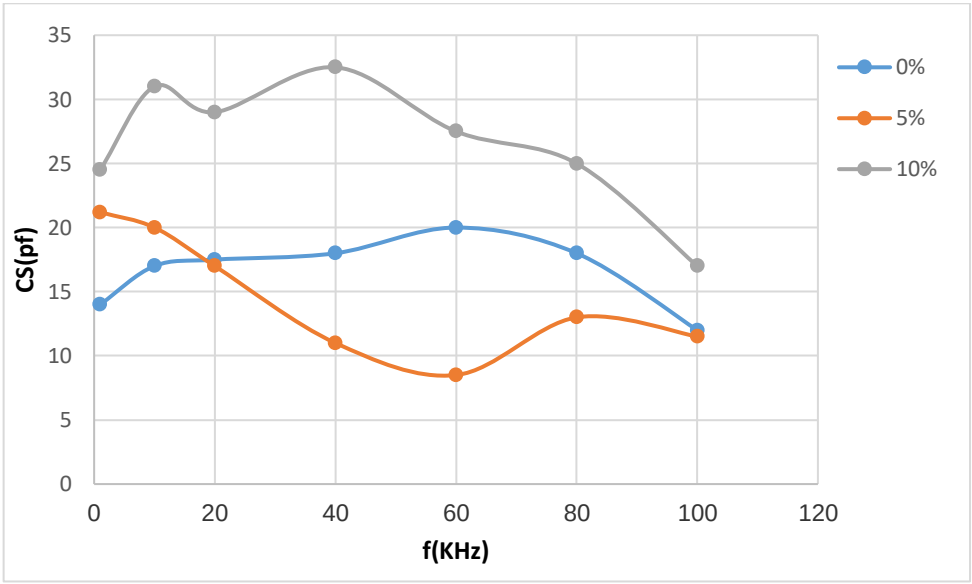
$1\ x^{10-5}$) وبعد اكتمال عملية ترسيب الأقطاب تم إيصال العينة بدائرة قياس الخواص العازلة والتي كانت بهيئة متسعة ذات لوحين من الألمنيوم والتي تعمل بتردد ثابت مقداره (IKHz) .



الشكل (3-2) يوضح رسما للدائرة المستخدمة .

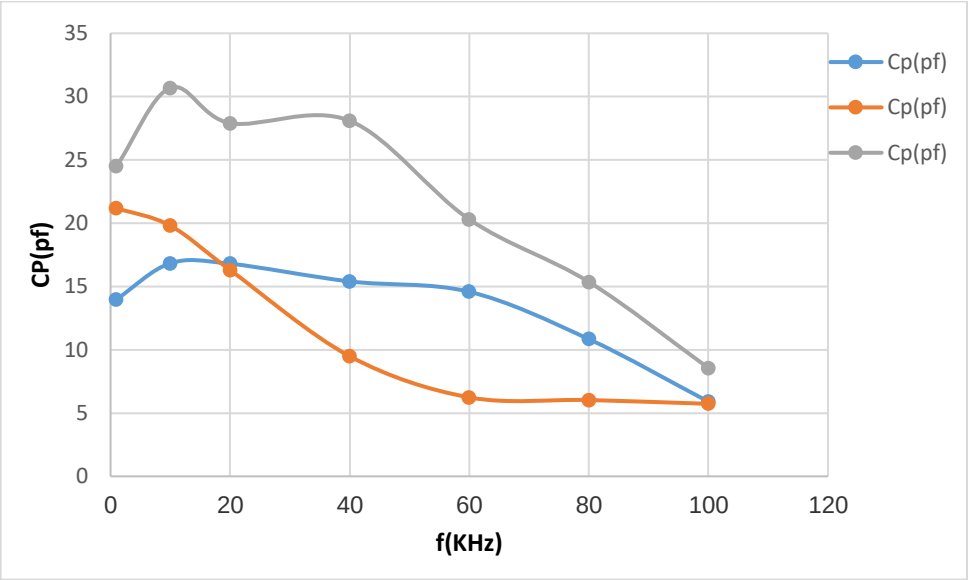
3-3-1- سعة المتسعة

الشكل 3-3 يوضح العلاقه بين سعه التوالي CS مع التردد F حيث نلاحظ من الشكل ان السعه تقل بمقدار قليل مع زياده التردد وان العلاقه بينهما عكسية. فعند النسبة 10٪ من إضافة MWCMTS نحصل على أعلى قيمة لسعه التوالي مقارنتاً بالنسبة 5٪ والبولي مثيل ميثا اكريليك PMMA الغير مطعمه وكانت أعلى قيمة لسعه عند التردد 40 KHZوالتي تساوي 32.5 مقارنتاً بقيم السعه لنسب الأخرى عند نفس التردد.



الشكل (3-3) يوضح العلاقة بين سعة التوالي CS(pf) و التردد f(KHZ)

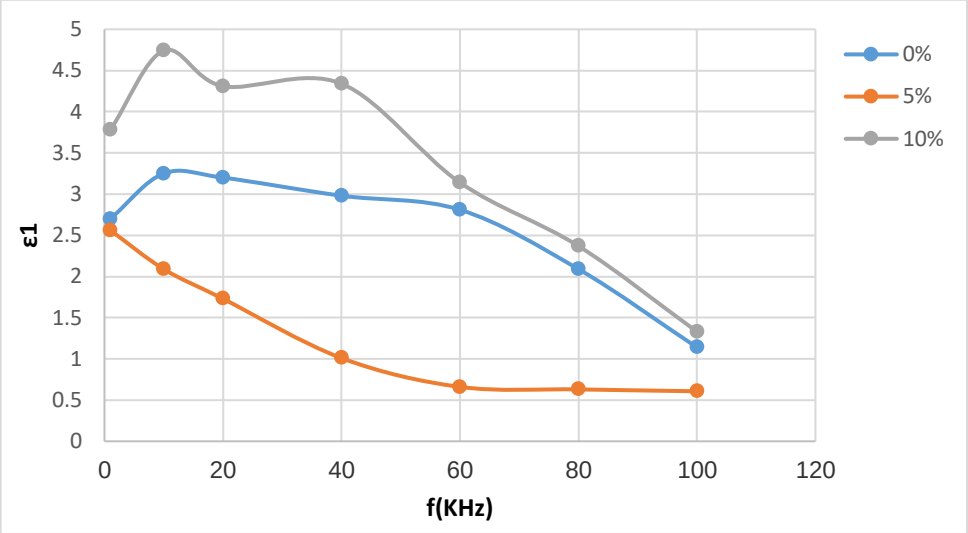
بينما الشكل 3-4 نجد ان السلوك لسعه التوازي CP مشابه تماماً لسلوك سعة التوالي والتي تقل فيه الســـعة مع زيادة التردد وإن أعلى قيمه لســـعة التوازي تكون عند التردد 10 KHZ وقيمته تساوي 31 مقارنتاً بالنسب الأخرى .



الشكل(3-4) يوضح العلاقة بين سعة التوازي Cp(pf) والتردد f(KHZ)

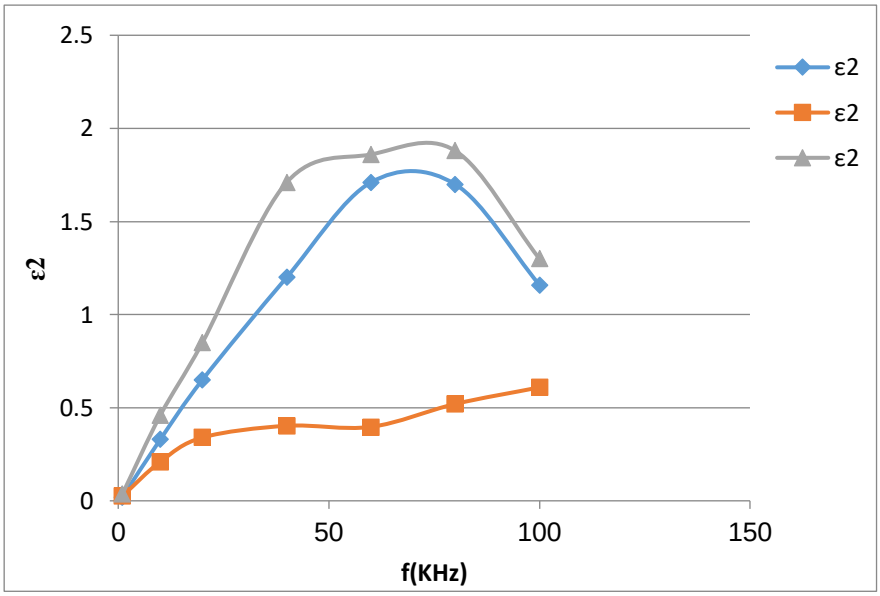
3-3-2 ثابت العزل ε

يوضــح الشــكل 3- 5 العلاقه بين ثابت العزل الحقيقي (الســماحيه للماده) ε1 مع التردد حيث نلاحظ من الشــكل إن ثابت العزل الحقيقي يقل مع زياده تردد وافضــل نســبة تكون عند النســبة 10٪ من إضــافة MWCNTS وهذا يدل على ان إســتمرار زيادة النســب يؤثر على قيم ثابت العزل والذي يتناسب عكسياً مع السعة وفق العلاقة (1) .



الشكل(3-5) يوضح العلاقة بين ثابت العزل الحقيقي ε1 والتردد f(KHZ)

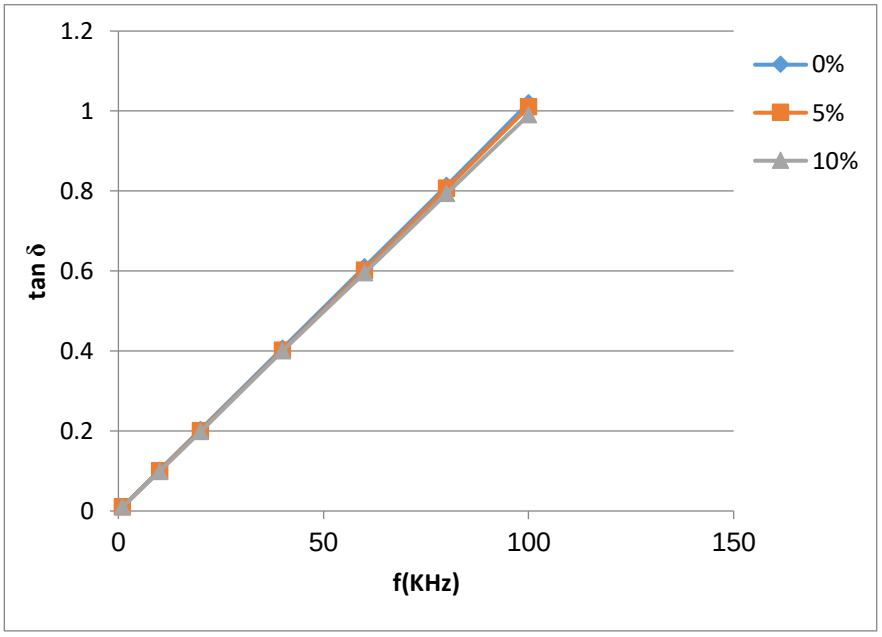
كذلك نلاحظ من الشـــكل 3-6 والذي يمثل العلاقه بين ثابت العزل الخيالي ε2 مع التردد f ففي حاله ثابت العزل الحقيقي ε1 أعلى قيمة لها هي 4.7 عند التردد 10KHZ مقارنتاً مع نســـباً أخرى بينما في حالة ثابت العزل الخيالي ε2 فإن أعلى قيم لها تكون عند الترددات مابين (80-60) KHZ مقارنتاً مع النســـب الأخرى بالنســـبة لنســـبة 10٪ حيث تزداد قيمة ثابت العزل الخيالي مع زيادة التردد.



الشكل(3-6) يوضح العلاقة بين ثابت العزل الخيالي ε2 والتردد f

3-3-3 عامل الفقد

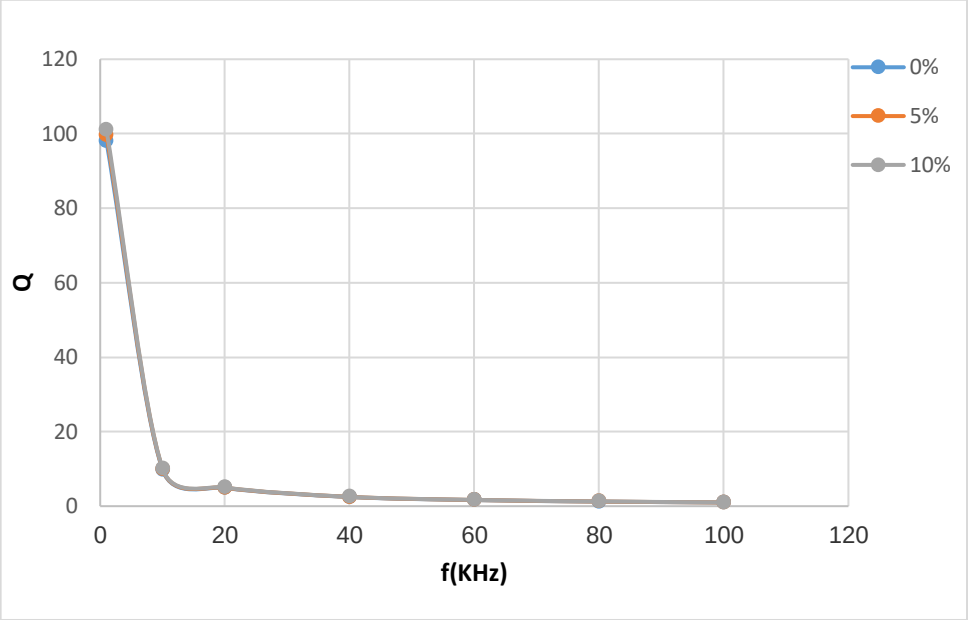
الشكل 3-7 يوضح العلاقه بين عامل الفقد tan δ كداله لتردد(1-100)KHZ حيث نلاحظ من الشكل ان إضافة MWCMTS الى بوليمر PMMA لايؤثر على سلوك عامل الفقد والذي فيه تزداد قيمة عامل الفقد مع زيادة التردد بشكل إومي ولكل النسب .



الشكل (3-7) يوضح العلاقة بين عامل الفقد والتردد

3-3-4 عامل الجودة Q

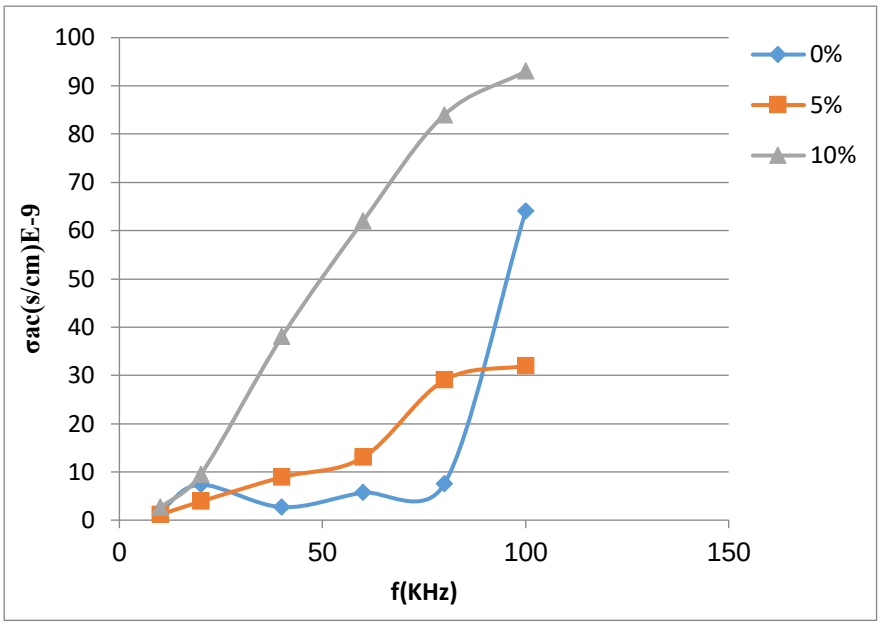
يبين الشكل 3-8 العلاقه بين عامل الجودة Q كداله لتردد. حيث نلاحظ من الشكل انخفاض كبير وملحوظ لقيم عامل الجودة Q مع زيادة التردد أي ان العلاقه بينهما عكسيه وإن أعلى قيمة لعامل الجودة 101.01عند التردد 1KHZواوطئ قيمة لها 0.98 عند التردد 100 KHZ وعند الترددات العاليه من (60-100)KHZ يظهر السلوك ثابت تقريباً مع استمرار زياده التردد.



الشكل (3-8) يوضح العلاقة بين عامل الجودة والتردد

3-3-5 التوصيليه المتناوبه σ

يوضح الشكل 3-9 العلاقه بين التوصيليه المتناوبه σ مع التردد ولكل النسب حيث نلاحظ إن افضل قيم لها تكون عند النسب 10٪ والتي تزداد مع زياده التردد بينما نلاحظ عند النسبه(5٪ و0٪) في بدايه الترددات من (10-60) KHZ إن التغير في قيم التوصـــيليه يكون قليل جداً مقارنتاً مع نســـبة (10٪)من الاضـــافه فعند التردد(80)KHZ تزداد قيمه التوصـــيليه من $(8x^{10-9})$S/cm عند النســـبة 0٪ الى اعلى قيمة لها $(84x^{10-9})$S\cm عند نســـبة 10٪ ويرجع ســـبب هذه التاثيرات الى انتشـــار MWCMTS بين الســـلاســـل البوليمريه لبوليمر PMMA ممايؤدي الى تقليل التشابك بين المونيمرات المكونه لبوليمر.



الشكل (3-9) يوضح العلاقة بين التوصيلية والتردد

الفصل الرابع

الأستنتاجات

الفصل الرابع: الاستنتاجات

1 -ان إضافة MWCMTS إلى PMMA يغير في الخصائص العازليه لبوليمر .

2 -تزداد قيمة كل من سعه التوالي وسعه التوازي مع زيادة نسب التطعيم.

3 -تقل قيمة ثابت العزل الحقيقي مع زيادة التردد بينما تزداد قيمة ثابت العزل الخيالي مع زيادة التردد وفي كلا الحالتين تزداد قيم ثابت العزل مع زيادة نسب التطعيم.

4 -نلاحظ إن سلوك عامل الفقد لايتغير مع زيادة نسب التطعيم.

5- تزداد قيم التوصيليه المتناوبه بمقدار رتبه واحده مع زياده نسب التشويب.

المصادر

1 _كيمياء البلمرة (مالكوم دستيفنس)ترجمة د.قيس عبد الكريم ابراهيم استاذ مساعد /كلية العلوم جامعة البصرة قسم الكيمياء. د.كاظم عياض اللامي.مدرس /كلية العلوم جامعة البصرة قسم الكيمياء(1984).

2 _البوليمرات في حياتنا اليومية د. نوال محجوب سليمان قسم الكيمياء .

3 _د. ذنون محمد عزيز بير بادي _د. كوركيس عبد ال أدم ، "كيمياء الجزيئات الكبيرة المحدث" ، 1980م ،جامعة بغداد .

4 _كيمياء البوليمرات / أ.د محمد مجدي عبد الله

5 _د. جمال الرفاعي _د. فارس السويلم ، "البوليمرات تركيبها وخصائصها " ،2011م ، معهد بحوث البتروكيماويات _مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية .

6_تكنولوجيا وكيمياء البوليمرات د.كوركيس عبد ال أدم /استاذ مساعد كلية العلوم/قسم الكيمياء/جامعة البصرة. د. حسين علي كاشف الغطاء /مدير مختبرات المجمع البتروكيمياوي / البصرة.

7 _د. اكرم عزيز محمد " كيمياء اللدائن " ، جامعة الموصل (1993).

8 _آنا تاكر، ترجمة د. اكرم محمد " الكيمياء الفيزيائية للبوليمرات " ، جامعة الموصل(1984).

9 _عباس جواد ، " دراسة تأثير أشعة كاما على الخواص الفيزيائية لبعض العوازل الكهربائية البوليمرية "، رسالة دكتوراه ، كلية ابن الهيثم (1997) .

10 _ دروزدوف ونيكولين ، " الخصائص الكهربائية للموصلات والعوازل " ، دار مير للطباعة والنشر ، موسكو (1973).