

استخدام أكسيد المنغنيز النانوي في تغليب الدارات المتكاملة الميكروية

الباحث: د. أحمد ملا

دكتور قائم بالأعمال في كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية، جامعة حلب

الملخص

يعتبر تغليب الدارات المتكاملة الميكروية MIC من الأمور الهامة والحساسة في تصنيع تلك الدارات والذي يؤثر مباشرة على أداء الدارة وعملها، حيث تعمل العلبة كحاضن للدّارة والذي قد يتحول إلى جوف طنيني ضمن شروط معينة مما يؤدي إلى اضطراب في عمل الدارة وعدم استقرارها، ومن أهم العوامل التي تؤثر مباشرة على تلافي هذا الأثر هو استخدام مواد خاصة تقوم بامتصاص الأمواج الميكروية المهيجة ولا تسمح لها بالانعكاس والانتشار ضمن الجوف، لذلك قد تم القيام بدراسة عملية للخواص البنيوية وامتصاصية الأمواج الميكروية لأوكسيد المنغنيز ($\beta\text{-MnO}_2$) النانوي المنثور في بولي فينيليدن فلورايد (PVDF) بحيث تم تحضير عينات المادة المقترحة بنسب مختلفة والحصول على مركب ماص للأمواج الميكروية.

تمت دراسة طيف انعراج الأشعة السينية XRD للأوكسيد الناتج الذي يمتلك بنية نانوية رباعية الأضلاع والزوايا. أظهرت دراسة ميزات تخميد وامتصاصية الأمواج الميكروية تطابقاً شبه تام بين القيم النظرية والتجريبية، تراوحت قيم التخميد حول 90%، والامتصاص حو 72.5%. كما تم حساب معامل الضياع المغناطيسي μ ودراسة طرائق تحسينه وذلك على الحزمة X GHz (8-12).

الكلمات المفتاحية: تغليب الدارات الإلكترونية، تخميد الأمواج الميكروية، المواد الماصة للأمواج الميكروية، الحزمة X.

Using of Manganese Dioxide Nanostructures in Microwave IC Packaging

Abstract

The packaging of Microwave integrated circuits (MIC) is one of the important and sensitive matters in the manufacture of these circuits, which directly affects the performance of the whole system, as the box acts as a cradle for the circuit, which may turn into a resonant cavity under certain conditions, which leads to disturbance in the circuit's work and instability, to avoid this effect we use a special materials that absorb excited microwaves and do not allow them to reflect and spread within the cavity. β -MnO₂ nanoparticles were prepared by the simple hydrothermal method. β -MnO₂ was dispersed successfully in Poly Vinylidene Fluoride (PVDF) to form the absorber system (β -MnO₂/PVDF) in various percentage ratios.

X-ray diffraction indicates prepared MnO₂ has a nano crystallite structure (Tetragonal) in beta phase. The percentage of attenuation in all studied ratios at the peaks of curves were around 90%, and percentage of absorbing was around 72.5%, which strongly indicates that (β -MnO₂/PVDF) is an excellent absorber material. The dielectric loss arising from PVDF and magnetic loss from β -MnO₂. In X band.

Keywords: Microwave Circuits Packaging, Microwave absorbing material, X band region.

1- مقدمة:

إن الأضرار الناتجة عن استخدام أجهزة الاتصالات الحديثة التي تعمل بالأمواج الكهرومغناطيسية من جهة، وتأثير ظاهرة التداخل الكهرومغناطيسي على الأجهزة الإلكترونية الذي يؤدي إلى تسرب الإشعاع من أجهزة الاتصالات وتداخلها من جهة أخرى [1]، دفع الباحثين على العمل من أجل إيجاد مواد ذات امتصاصية عالية تعمل على الحد من أثر تلك الأشعة وتقليل الضرر الناجم عنها. لقد حازت تكنولوجيا المواد النانوية على اهتمام الباحثين والمختبرات العالمية [2] لما تمتلكه من سطح كبير بالنسبة لحجمها، الأمر الذي يكسبها خصائص كهربائية ومغناطيسية هامة وغيرها من الخواص الأخرى [3,4]. ومن المواد التي لاقت اهتماماً كبيراً هي أكسيد المنغنيز MnO_2 بسبب تكلفته المنخفضة، ووفرة مصادره، وخواصه المغناطيسية ولدونته التي تكسبه خواص فيزيائية وكيميائية مشتركة [2].

تُعد الطريقة الحرارية المائية: (Hydrothermal method) من الطرائق المفضلة في تحضير مواد نانوية مثل أكسيد المنغنيز النانوي، إذ أنه يتم التحكم بأطوارها من خلال درجة حرارة وزمن التفاعل معاً [4]، ويمتلك MnO_2 النانوي بنية MnO_6 بحيث أن كل ذرة منغنيز ترتبط مع ست ذرات أوكسجين بطرائق مختلفة وبنى بلورية متعددة محددة عند درجات حرارة وزمن محددتين وبالتالي يمكن تحضيره ببنى وأطوار متعددة

MnO_2 - ($\alpha, \beta, \gamma, \delta$) [4]، وتُصنف المواد المُحضّرة تبعاً لتفاعلها مع الأمواج الميكروية فإما أن تتشكل مواد عاكسة للموجة، أو شفافة نافذة للموجة عندما يكون ظل زاوية ضياع العازل $\tan \delta < 0.1$ ، أو ماصة للموجة تمتص طاقة الفوتونات وتبديدها على شكل حراري ضمن المادة $\tan \delta > 0.1$ [5]. بناءً على ما سبق يمكن القول بأن المواد الماصة تعمل على تبديد طاقة الأمواج الواردة على شكل حراري [6]. ويتم

الحصول عليها بنثر أكسيد مادة مغناطيسية في المادة العضوية البوليميرية [7]. إن الضياع في العازل والضياع المغناطيسي في الأوكسيد يجب أن يكون أكبر منه للمادة البوليميرية والتي يتم اختيارها تبعاً لخواصها الفيزيائية (مقاومتها للحرارة، مقاومة العوامل الجوية وغيرها) [8]. فعند نثر $\beta\text{-MnO}_2$ الذي يمتلك مقاومة منخفضة في المادة العضوية PVDF والتي تمتلك مقاومة كبيرة، نحصل على مادة ماصة ذات مقاومة كبيرة [1]، كما وتمتلك البوليمرات عصابة امتصاص ترددية ضيقة وبالتالي فإن عملية نثر مادة ذات خواص مغناطيسية فيها تعمل على توسيع تلك العصابة والحد من انعكاس الأمواج [7]. أيضاً يجب أن تمتلك المادة الماصة المثالية مقاومة عالية، ضياع عازلي ومغناطيسي عالي، عصابة امتصاص ترددية واسعة وسماكة صغيرة [3] ، ويرتبط تخميد وامتصاص الأمواج الميكروية بالسماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية وملاءمة الممانعة للمادة الماصة (Impedance Matching) [9].

إن نثر $\beta\text{-MnO}_2$ في PVDF بنسب مختلفة يلعب دوراً مهماً في تحسين قيم كلاً من ϵ' و ϵ'' ، μ' ، μ'' التي تضمن الملاءمة والتخميد والامتصاص الأمثل بعرض عصابة ترددية واسعة وسماكة أقل [7]. إن حزمة الأمواج الميكروية ضمن طيف الأمواج الكهرومغناطيسية تعمل على توزيع الشحنة أو التحريض على دوران عزوم ثنائيات الأقطاب للجزيئات (الاستقطاب الدوراني)، كما أن مركبة الحقل الكهربائي تحرض على توليد تيار من الشحنات الحرة (الاستقطاب الالكتروني) والتأخير في دوران تلك العزوم الذي ينتج عنه ضياعاً في العازلية. بينما تحرض مركبة الحقل المغناطيسي على دوران العزوم المغناطيسية (المغنطة) والتأخير في دوران تلك العزوم الذي يؤدي إلى ضياعاً في المغناطيسية [10]. يمكن الإشارة إلى أن هناك ثلاث آليات رئيسية تساهم في تخميد (الامتصاص والتبعثر) وضياع الطاقة بالانعكاس وهي: الضياع العازلي والمغناطيسي وملاءمة الممانعة [11]. كما أن هناك نوعان من العوامل الرئيسية للحصول على

امتصاصية جيدة، الأول الذي يحدده شرط ملائمة الممانعة إذ أن الأمواج الميكروية الواردة يمكن أن تنفذ إلى المادة الماصة بمعامل انعكاس أصغري، والثاني الذي يتعلق بضياح طاقة الأمواج الكهرومغناطيسية العازلي والمغناطيسي إذ أن المادة الماصة يمكن أن توهم وبشكل كبير تلك الأمواج الميكروية النافذة من المادة الماصة [11]. إن معامل الضياح المغناطيسي " μ " يسمح بتحسين الملاءمة، وتوسيع نطاق الامتصاص الترددي، وزيادة التخميد بزيادة التردد [7]. لقد تعددت الأبحاث التي درست تخميد وامتصاصية الأمواج الميكروية في منطقة العصابة GHz X [8,12]، وذلك بسبب استخدامه في الأغراض العسكرية. حيث يتم كشف الهدف بوساطة الرادار، وهنا يتم إضعاف ترددات الأمواج الراديوية وانعكاسها عن المادة الهدف إلى الرادار الأمر الذي يحول دون كشفها [12]، كما وتستخدم في الرادارات عالية الدقة وأجهزة مراقبة الأحوال الجوية [1]. كما تُدرس المواد المستخدمة في تغليف الدارات الالكترونية التي تعمل عند تلك الترددات، للحد من التأثير الكهرومغناطيسي المتبادل ما بين العناصر المتجاورة وهذا يدخل في إطار ابحاث EMC.

2- الدراسة المرجعية:

إن الهدف الأساسي للبحث والتطوير يتمحور حول توفير حلول تقنية ذات أداء عالٍ وسعرٍ منخفضٍ وأكثر تقدماً وتعقيداً عن سابقتها، فكان لزاماً علينا أن نقوم بجمع الدراسات السابقة في المجال ذاته، ويوجد العديد من الدراسات التي درست عملية التغليف من حيث المواد المصنعة إن كانت معدنية أو مغناطيسية أو فيرومغناطيسية وطريقة التغليف وأشكاله والأجواف الناتجة عن عملية التغليف حيث قدم البحث [13] دراسة متكاملة عن عملية تغليف الدارات المتكاملة الميكروية وحيدة البلورة (MMIC) باستخدام طريقة LTCC السيراميك ذو المعالجة الحرارية المنخفضة وقام بمقارنتها مع طريقة HTCC ذات المعالجة الحرارية المرتفعة، كما قام البحث [14] بطريقة مقترحة لعملية

تعليب عدة رقائق تعمل في الحزمة الترددية L لدارات MMIC وتمت المحاكاة باستخدام CST، أما المرجع [15] فقد حسن طريقة التعليب باستخدام أجواف طنينية من النحاس، بينما استخدام المرجع [16] المواد الفيرومغناطيسية كأجواف طنينية وترسيب الكوبالت كمادة أساس لهذا الفيلم. وفي هذا المجال هنالك المئات من الأبحاث ولا يزال البحث مستمراً.

3- أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث بتضمين مواد ذات تخميد كهرومغناطيسي في تعليب الدارات المتكاملة الميكروية وبالتالي تحسين أدائها بشكل كبير والحفاظ على وثوقيتها، وخاصة لتلك العاملة في الحزمة X وهي حزمة العمل الراداري الأشهر.

4- تحضير العينات:

حتى نضمن نتائج دقيقة يجب أن تكون العينات محضرة بطريقة صحيحة ومصنفة بشكل دقيق وتكون مناسبة لأجهزة القياس المتوفرة، وقد تم استخدام المواد التالية في عملية تحضير العينات:

- 1- كبريتات المنغنيز أحادي الماء ($MnSO_4 \cdot H_2O$) بنقاوة 98% من شركة Hi Media Laboratories Pvt. Limited Mumbai – 400 086, India
- 2- فوق كبريتات الأمونيوم ($(NH_4)_2S_2O_8$) بنقاوة 99% من شركة BDH Laboratory Supplies Poole, BH15 1TD, England
- 3- بولي فينيليدين فلورايد (Poly Vinylidene Fluoride) بنقاوة 98% من شركة i T Co. USA
- 4- ديميثيل فورم أميد N, N-Dimethylformamide من شركة SIGMA-ALDRICH Co., Germany

أما أجهزة القياس فقد تم استخدام جهاز دراسة حيود الأشعة السينية (Leybold Didactic) طول موجة مادة الهدف المصنوع من نحاس- كوبالت ($\lambda = 0.15418$ nm).

كما تم استخدام منظومة قياس قيم تخميد وامتصاص وضياح العودة RL للعينات على الأمواج الميكروية المولدة في الحزمة X ضمن المجال الترددي (8-12.4) GHz، الموضح في الشكلين (1، 2).

ليتم تحضير عينات الماصّة (β -MnO₂+PVDF) وفق المرحل التالية:

1-4- تحضير β -MnO₂ النانوي:

تم تحضير أكسيد المنغنيز النانوي β -MnO₂ باستخدام الطريقة الحرارية المائية (Hydrothermal Method). بأخذ 0.01 مول من كبريتات المنغنيز أحادي الماء (MnSO₄.H₂O) مع 0.01 مول من فوق سلفات الأمونيوم ((NH₄)₂S₂O₈) ثم يُوضع المركبين في وعاء زجاجي يحتوي على 80(ml) من الماء المقطر، باستخدام خلاط مغناطيسي والتحرك لمدة 15(min) عند درجة حرارة الغرفة تم الحصول على محلول لزج ومتجانس، ثم يُوضع المحلول الناتج في أوتوكلاف من معدن الستانلس ستيل بسعة 100(ml) بعد ذلك يُنقل ويوضع في مرمدة عند درجة حرارة 140°C لمدة 12 ساعة. وتعطى معادلة التفاعل الكيميائي بالشكل التالي:



بعد تمام التفاعل يُترك الأوتوكلاف في المرمدة حتى تتعادل حرارته مع الوسط. يتكون ناتج التفاعل من محلول حمضي أخضر باهت اللون ناتج عن حمض الكبريت (PH = 1.45) بناقلية تصل لـ $\sigma = 70$ (ms) ناتجة عن شوارد كبريتات الأمونيوم وحمض الكبريت، وراسب أسود اللون الذي يمثل أكسيد المنغنيز، ثم يُسفل الراسب

الناتج ويُغسل بالماء المقطر لإزالة الأيونات الناتجة عن الملح والحمض، بعد ذلك يُوضع الراسب في الفرن عند الدرجة 120°C لمدة 3 أيام حتى يجف.



الشكل (1): دائرة قياس التخميد على الحزمة X للعينات



الشكل (2): دائرة قياس ضياع العودة RL على الحزمة X للعينات

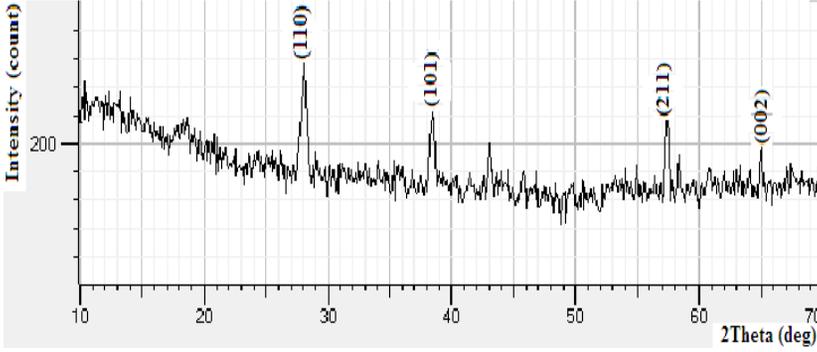
2-4- تحضير المركب الماص (β -MnO₂/PVDF):

تم تحضير المركب الماص للأموح الميكروية وفق النسب المئوية التالية 1:9، 2:8، 3:7، 5:5، 7:3، حيث تدل النسب اليسرى على نسب الأوكسيد. في البداية يتم نثر كل نسبة من نسب الأوكسيد في 70(gr) من المحل (DMF) عن طريق جهاز توليد الأشعة فوق الصوتية عند درجة حرارة الغرفة لمدة ساعة حتى الحصول على محلول معلق. بعدها يُضاف البوليمر (PVDF) إلى المحلول المعلق حسب كل نسبة ومن ثم يُحرك المزيج بواسطة الخلاط المغناطيسي عند الدرجة 80°C لمدة ساعة واحدة. بعدها يُوضع المزيج في جهاز توليد الأشعة فوق الصوتية لنثر الأوكسيد داخل القالب البوليميري عند درجة حرارة الغرفة لمدة 3 ساعات، ليوضع المزيج في الفرن من أجل تجفيفه عند الدرجة 80°C لـ 7 أيام والحصول على فيلم أسود اللون أسطواني الشكل. والجدير بالذكر أننا تمكنا من التحكم بسماكة العينات بناءً على نسبة المواد الداخلة في تركيب المادة وليس بطريقة ضغط العينات.

5- النتائج والمناقشة:

5-1- النتائج البنيوية:

تم استخدام نتائج حيود الأشعة السينية للحصول على البارامترات البنيوية كمقياس للتبلور والبنية البلورية والانفعال من خلال تحليل طيف الـ XRD للأوكسيد β -MnO₂ كما في الشكل (3). تؤكد قمم الحيود على أن الأوكسيد المحضّر له طور رباعي الزوايا والأضلاع (Tetragonal) (JCPDS Card, no. 24-0735). ولا توجد أي قمم للأطوار الأخرى مما يدل على التبلور النقي.



الشكل (3): مخطط تحليل الأشعة السينية للأوكسيد المحضّر β - MnO_2 .

يشير الانحراف للتبلور المثالي إلى اتساع قمم الحيود (التعريض الخطي) (β_{hkl}) والذي يُستخدم للتحقق من توزيع الانخلاع في البنية البلورية [17]. مع الأخذ بعين الاعتبار أن تشوه البنية البلورية هو تشوه منتظم في جميع اتجاهات البلورة، وبالتالي نأخذ بعين الاعتبار أن البلورة متماثلة المناحي، وعندها يُعطى التعريض الخطي الكلي XRD تُعطى بالعلاقة التالية:

$$\beta_{measurement} = \beta_{hkl} + \beta_{device} + \beta_{strain} \quad (1)$$

ويفرض أن التعريض الخطي الناجم عن الجهاز β_{device} صغير جداً بحيث يمكن إهماله، عندئذٍ تأخذ العلاقة السابقة الشكل التالي:

$$\beta_{measurement} = \beta_{hkl} + \beta_{strain} \quad (2)$$

يُعدّ مقياس التبلور (Crystallite Size) مقياس لحجم حيود القمم المترابطة، وهو بالنسبة للجزيئات لا يمتلك نفس القيمة، كما في الحجم الجزيئي وهذا يعود لوجود تجمعات جزيئية متعددة التبلور، ويُحسب باستخدام علاقة ديبي-شرر التالية [17]:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta_{hkl} \cos\theta} \quad (3)$$

حيث D: مقياس التبلور، K: معامل الشكل (0.9) في حال كان الوسط متجانس متماثل المناحي (isotropic)، λ : طول موجة الشعاع لمادة النحاس (0.1514 nm).

ويعتبر انفعال الشبكة (Lattice Strain) من المتغيرات البنيوية الهامة والذي يُعد مقياس لتوزع ثوابت الشبكة الناجمة عن العيوب والتشوهات البلورية كانخلاع الشبكة، ويُعطى بالعلاقة [17]:

$$\varepsilon = \frac{\beta_{hkl}}{4 \tan \theta} \quad (4)$$

بينما يُعطى انخلاع الشبكة البلورية بالعلاقة:

$$\delta = \frac{15 \varepsilon}{a D} \quad (5)$$

حيث a : ثابت الشبكة البلورية.

ويُلخص الجدول التالي البارامترات الهندسية لجزيئات β -MnO₂ النانوية التي تم حسابها باستخدام علاقات ديبي-شرر.

الجدول (1): البارامترات الهندسية لـ β -MnO₂ النانوي تبعاً لصيغة ديبي-شرر.

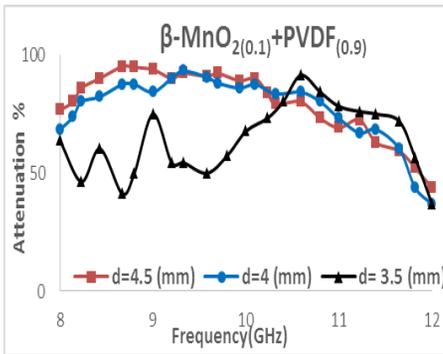
البارامتر	مقياس التبلور	الانفعال	الانخلاع	البعد البلوري	ثابت الشبكة البلورية	ثابت الشبكة البلورية
الرمز	D (nm)	$\varepsilon \times 10^{-4}$ (lin ⁻² .m ⁻⁴)	$\delta \times 10^{14}$ (lin.m ⁻²)	d (nm)	a (A°)	C (A°)
القيمة	9.314	38.09	1.344	0.311	4.483	2.874

5-2 تخميد الأمواج الميكروية:

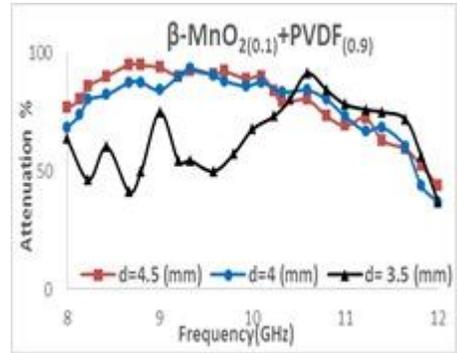
تمت دراسة ميزات تخميد الأمواج الميكروية باستخدام مقاييس ميكروية خاصة عند المجال الترددي (8-12) GHz. وتُظهر الأشكال [4 - 13] قياسات معامل التخميد، والتخميد بالنسبة المئوية للأمواج الميكروية.

تتراوح شدة التخميد الناتج بين % [86-96] مما يؤكد على أن المركب (β -MnO₂ / PVDF) مادة ذات تخميد ممتاز للأمواج الميكروية. لقد أعطت العينة 3:7 أفضل قيمة لمعامل التخميد بلغت 14.8 (dBm) عند التردد (8.23 GHz) بنسبة % 96. ويعود

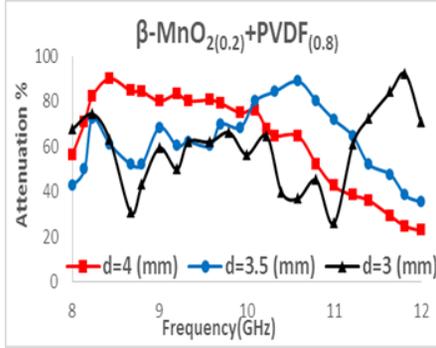
تخميد الأمواج الميكروية إلى أنها تحرض على الفعل التدويري لجزيئات $\beta\text{-MnO}_2$ عند تعريضها لتلك الأمواج، حيث تُستقطب جزيئاته استقطاباً دورانياً، بينما تُستقطب جزيئات البوليمر استقطاباً إلكترونياً، الأمر الذي يؤدي إلى استقطاب متعدد ينتج عنه امتصاص وتبعثر (التخميد) لتلك الأمواج، كما وينتج ضياعاً في العزل، ويُعزى ذلك إلى تردد الأمواج الميكروية الكبير (مرتبة الـ GHz)، حيث أن الجزيئات لا تمتلك الوقت الكافي لتواكب التغيرات السريعة للحقل المطبق وتُستقطب، فينتج عن ذلك تأخير في طور الحركة مسبباً ضياعاً في طاقة الأمواج الميكروية على شكل طاقة حرارية داخل المادة العازلة. بالإضافة إلى ذلك تخضع الجزيئات أثناء دورانها إلى تصادمات فيما بينها تعمل على توليد مقاومة تساهم في زيادة الضياع العازلي وبالتالي زيادة شدة التخميد. وتبين الخطوط البيانية ازدياد شدة التخميد بازدياد سماكة العينة، ويعزى هذا إلى أنه بزيادة السماكة تمتلك العينات كثافة جزيئية أكبر وبالتالي تتشكل عزوم أقطاب أكثر، كما تزداد شدة الاستقطاب والمقاطع العرضية للتبعثر. كما نلاحظ انزياح قمم التخميد بازدياد سماكة العينات ونسبة الأوكسيد نحو الترددات الأصغر، لكن لم نلاحظ أي تأثير لتغير نسبة الأوكسيد على شدة قمم التخميد.



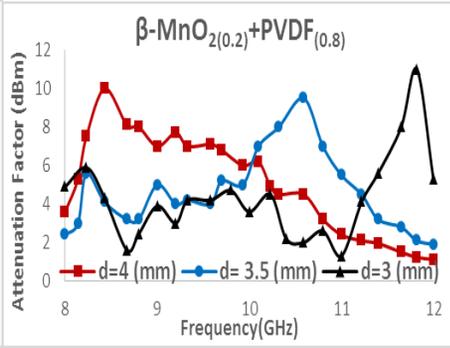
الشكل (5): تغيرات التخميد بالنسبة المئوية بدلالة التردد للعينة 1:9 في المجال GHz (8-12).



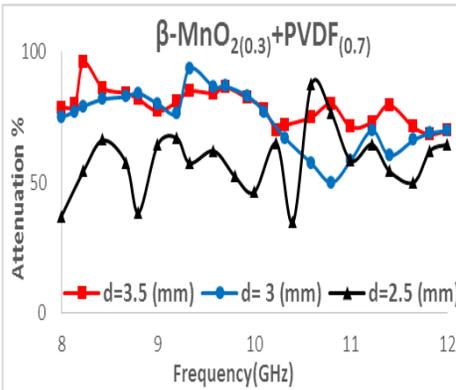
الشكل (4): تغيرات معامل التخميد بدلالة التردد للعينة 1:9 في المجال GHz (8-12).



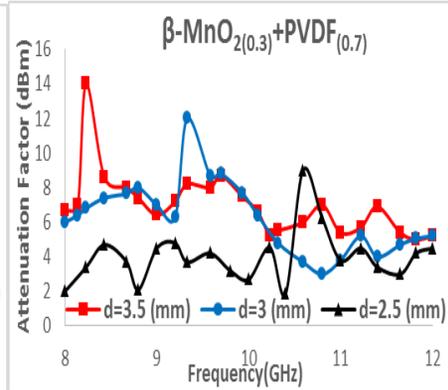
الشكل (7): تغيرات التخميد بالنسبة المئوية بدلالة التردد للعينة 2:8 في المجال GHz (8-12).



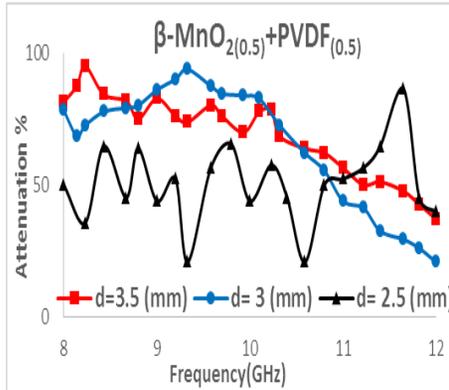
الشكل (6): تغيرات معامل التخميد بدلالة التردد للعينة 2:8 في المجال GHz (8-12).



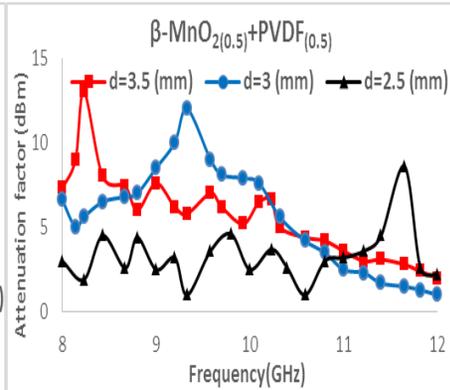
الشكل (9): تغيرات التخميد بالنسبة المئوية بدلالة التردد للعينة 3:7 في المجال GHz (8-12).



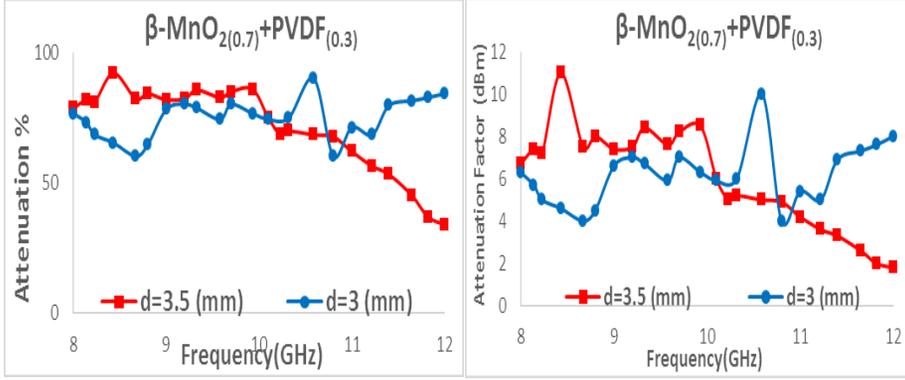
الشكل (8): تغيرات معامل التخميد بدلالة التردد للعينة 3:7 في المجال GHz (8-12).



الشكل (11): تغيرات التخميد بالنسبة المئوية بدلالة التردد للعينة 5:5 في المجال GHz (8-12).



الشكل (10): تغيرات معامل التخميد بدلالة التردد للعينة 5:5 في المجال GHz (8-12).



الشكل (12): تغيرات معامل التخميد بدلالة التردد للعيونة 7:3 في المجال GHz (8-12).
 الشكل (13): تغيرات التخميد بالنسبة المئوية بدلالة التردد للعيونة 7:3 في المجال GHz (8-12).

ويوضح الجدول (2) القيم المثالية لقمم معامل التخميد والتخميد بالنسبة المئوية والمتغيرات الموافقة له عند المجال الترددي GHz (8-12).

الجدول (2): قيم قمم التخميد المثالي والمتغيرات الموافقة له عند المجال GHz (8-12).

μ''	dm (mm)	fm (GHz)	Bandwidth (GHz) RL=8(dBm)	Atten %	Atten optimal (dBm)	Sample (wt %)
1.28	4.5	8.8	9.2-8.43	94.62	12.7	1:9
1.39	3	11.82	12-11.56	92.05	11	2:8
1.45	3.5	8.23	8.43-8.14	96.01	14	3:7
1.65	3.5	8.23	8.43-8.14	94.98	13	5:5
1.88	3.5	8.43	8.67-8.23	92.05	11	7:3

3-5 دراسة ميزات امتصاصية الأمواج الميكروية:

وجدنا في دراسة نظرية سابقة [3]، في حال الورد الطبيعي للموجة الميكروية على سطح المادة الماصة عند نسب و سماكات متغيرة محددة ومدروسة، سنعطى علاقة الطاقة الضائعة بالانعكاس (Reflection Loss) المستخدمة في قياس السماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية العقدية في مجال ترددات الأمواج الميكروية GHz (8-12) (العصبة X) بناءً على نظرية النفوذ الخطي بالعلاقة: [2,3]

$$RL = 20 \log \left| \frac{Z_{in-1}}{Z_{in+1}} \right| \quad (6)$$

حيث Z_{in} : ممانعة الدخول للوسط الماص والتي تُعطى بالعلاقة: [2,3]

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left[j \left(\frac{2\pi f d}{c} \right) \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right] \quad (7)$$

حيث ϵ_r : السماحية النسبية العقدية، μ_r : النفوذية النسبية العقدية، f : التردد المطبق، d : سماكة المادة الماصة، C : سرعة الضوء في الخلاء.

أما معامل الانعكاس فيُعطى بالعلاقة التالية: [3]

$$R = 10^{\frac{RL}{20}} \quad (8)$$

كما تم حساب امتصاصية الموجة باستخدام العلاقة: [3]

$$A = 1 - R \quad (9)$$

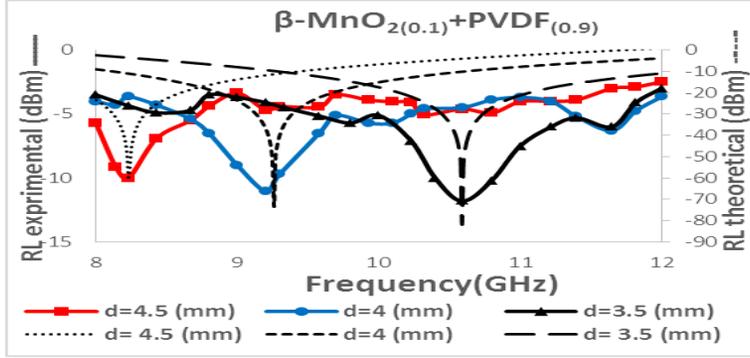
اعتماداً على العلاقتين (8)، (9) تم حساب RL عند سماكات ونسب مختلفة للمركب (β -MnO₂ / PVDF) آخذين بعين الاعتبار تغيرات كل من μ_r و ϵ_r مع تغير التردد والنسب في المجال (8-12) GHz. وللتحقق من صحة عملنا النظري تم قياس RL ثم قورنت تلك النتائج التجريبية بالنتائج المحسوبة نظرياً، حيث وجدنا أن القيم كانت متقاربة جداً لجميع العينات المدروسة، الأمر الذي يعزز صحة تلك الدراسة [3].

إن زيادة نسبة الأوكسيد في المركب لا تلعب أي دور في تغير شدة قمم RL والامتصاصية، لكنها تعمل على إزالة تلك القمم تدريجياً نحو الترددات الأصغر. كما أن تناقص سماكة العينة، يزيد من نطاق ترددات قمم RL والامتصاصية، وهذا يعود إلى أن قيم RL ترتبط بقيم Z_{in} وقيم Z_{in} ترتبط بقيم d ، وبالتالي فإن قيم Z_{in} هي التي تلعب الدور الأبرز في ذلك. لقد أظهرت العينة 2:8 أفضل امتصاصية بمعامل ضياع الطاقة بالانعكاس (16.6 dBm) بنسبة امتصاص مئوية (امتصاصية) 86% من طاقة الأمواج الميكروية عند التردد (11.4 GHz) بعرض عصابة عند $RL = 8$ (dBm) بلغ (1.16 GHz). كما أظهرت العينات بشكل عام امتصاصية جيدة للأمواج الميكروية،

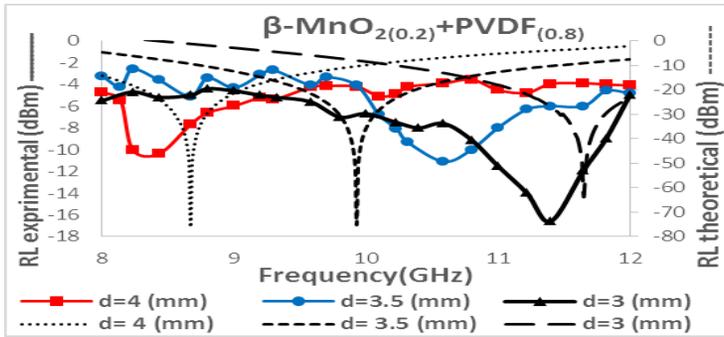
بسبب ملاءمة الممانعة بين قيم السماحية والنفوذية النسبية. ونتيجة لتأثير الحقل الكهرومغناطيسي المتناوب، فإن (β -MnO₂/PVDF) يمتلك أنواع متعددة من الاستقطاب تجعل منه كثائي أقطاب كهربائي في الحقل الكهرومغناطيسي، كما وتُستقطب الجزيئات النانوية بمعدل بليون مرة في الثانية [18]، هذا يقود إلى تكرار الاستقطاب والتذبذبات المخمّدة لثنائيات الأقطاب الذي ينتج عنه امتصاص لتلك الأمواج.

يعود السبب الرئيسي لامتناس طاقة الأمواج الواردة في المواد العازلة إلى عزم ثنائيات الأقطاب المستقر الدائم والذي يعمل على توجيهها تحت تأثير الحقل الكهرومغناطيسي. أما في مجال ترددات GHz فإن الجزيئات لا تمتلك الاستجابة الكافية لتواكب التغيرات السريعة للحقل المغناطيسي وتتمغنط، فينشأ عن ذلك طور راحة (phase lag) يسبب استرخاء ثنائيات الأقطاب (relaxation dipole)، وبالتالي تمتص المادة طاقة الحقل محققةً بذلك ضياعاً مغناطيسياً. ومنه نجد أن جزيئات المركب الماص (β -MnO₂/PVDF) تميل لأن تُستقطب وتحقق امتصاصاً جيداً، من ناحية أخرى فإن النثر المتجانس للجزيئات النانوية في البوليمر يلعب دوراً في تحديد نوعية الامتناسية.

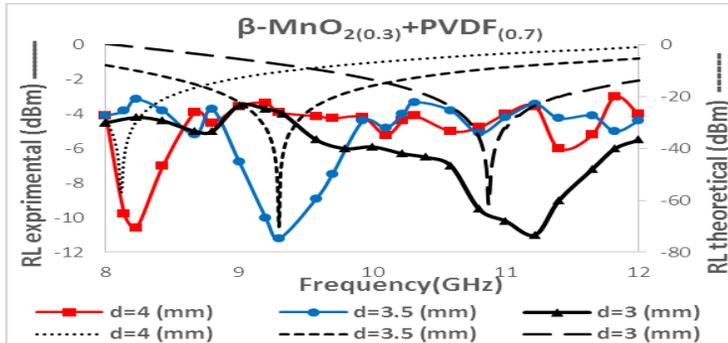
تُظهر الأشكال [14-18] مخططات RL النظرية والمشار إليها بالخطوط المنقطة والقيم التجريبية. بينما تُظهر الأشكال [19 - 23] قيم الامتناس بالنسبة المئوية بدلالة تغير التردد من (8-12) GHz.



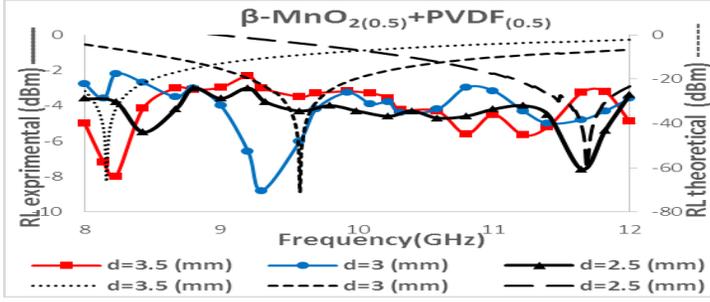
الشكل (14): مقارنة بين قيم ضياع الطاقة بالانعكاس النظرية والتجريبية للعينة 1:9 عند 8-12 GHz.



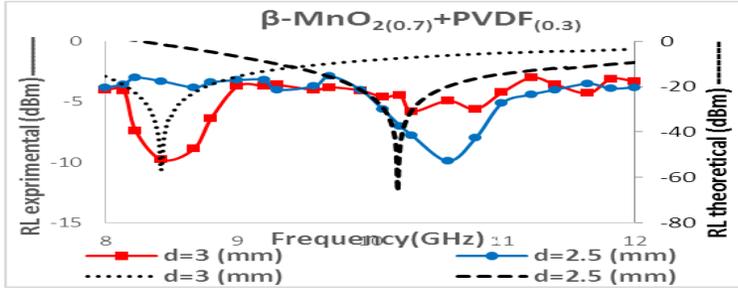
الشكل (15): مقارنة بين قيم ضياع الطاقة بالانعكاس النظرية والتجريبية للعينة 2:8 عند 8-12 GHz.



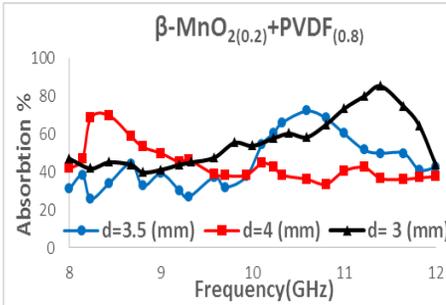
الشكل (16): مقارنة بين قيم ضياع الطاقة بالانعكاس النظرية والتجريبية للعينة 3:7 عند 8-12 GHz.



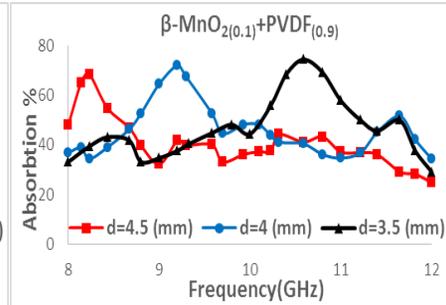
الشكل (17): مقارنة بين قيم ضياع الطاقة بالانعكاس النظرية والتجريبية للعيونة 5:5 عند 8-12 GHz.



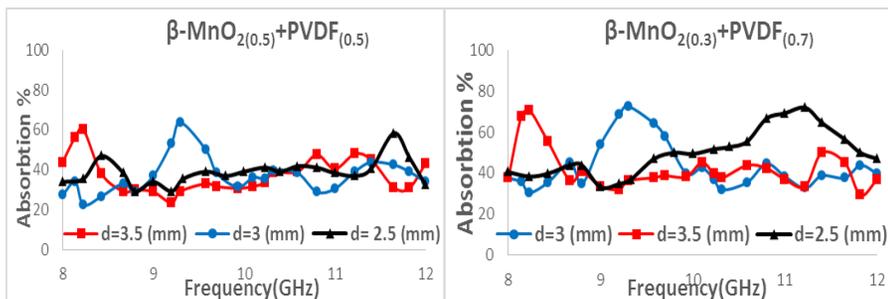
الشكل (18): مقارنة بين قيم ضياع الطاقة بالانعكاس النظرية والتجريبية للعيونة 7:3 عند 8-12 GHz.



الشكل (19): النسبة المئوية لامتصاص بدلالة التردد للعيونة 1:7 في المجال 8-12 GHz.

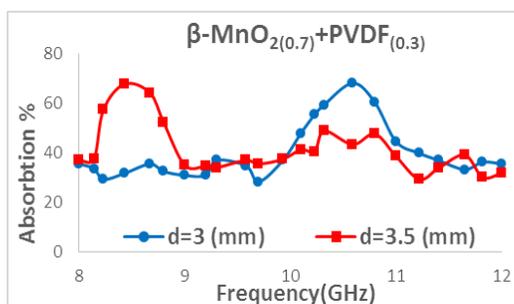


الشكل (20): النسبة المئوية لامتصاص بدلالة التردد للعيونة 2:8 في المجال 8-12 GHz.



الشكل (21): النسبة المئوية للامتصاص بدلالة التردد للعيونة 3:7 في المجال (8-12) GHz.

الشكل (22): النسبة المئوية للامتصاص بدلالة التردد للعيونة 5:5 في المجال (8-12) GHz.



الشكل (23): النسبة المئوية للامتصاص بدلالة التردد للعيونة 7:3 في المجال (8-12) GHz.

الجدول (3): يوضح القيم التجريبية للضياح الأمثل للطاقة بالانعكاس والبارامترات المتعلقة به.

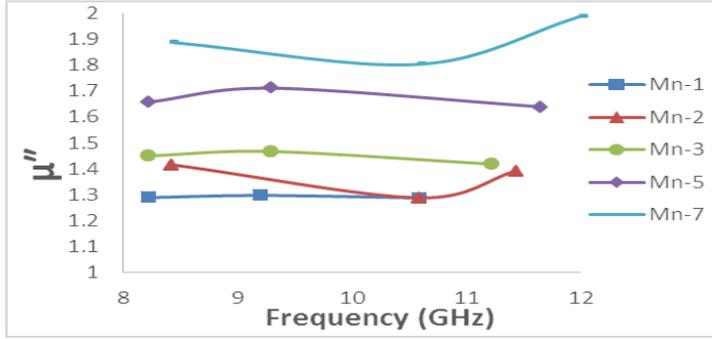
μ''	dm (mm)	fm (GHz)	Bandwidth (GHz) RL = 8 (dbm)	%A	RL optimal (dBm)	Sample (wt%)
1.28	3.5	10.59	11-10.23	74.29	11.8	1:9
1.39	3	11.4	11.75-10.59	85.20	16.6	2:8
1.46	3.5	9.3	9.7-9.2	72.45	11.2	3:7
1.71	3	9.3	9.58-9.3	63.69	8.8	5:5
1.8	2.5	10.59	10.8-10.23	68.01	9.9	7:3

بناءً على القيم المبينة في الجدول السابق يمكن أن نحدد كلاً من النسبة، السماكة، التردد، عرض العصابة و μ'' المثالية للمركب (β -MnO₂ / PVDF) والتي تعطي بمجموعها الامتصاصية المثالية لطاقة الأمواج الميكروية.

إن معامل الضياع المغناطيسي μ'' مرتبط بضياع الحقل المغناطيسي الناتج عن مغنطة ثنائيات القطب المغناطيسية، ويتم حسابه عند القمم الموافقة لامتصاص المثالي من العلاقة [9]:

$$\mu'' = \frac{c}{2 \pi f_m d_m} \quad (11)$$

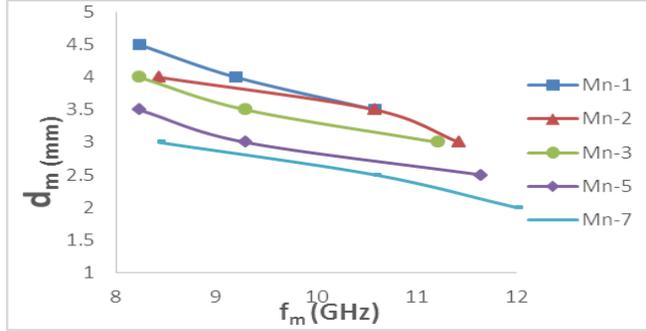
حيث c : سرعة الضوء في الخلاء، f_m : التردد المثالي، d_m : السماكة المثالية. ويمكن تحسين معامل الضياع المغناطيسي من خلال زيادة نسبة الأوكسيد في المركب، وذلك بإنقاص التردد المطبق أو سماكة العينة. والشكل (24) يوضح ذلك.



الشكل (24): يوضح انزياح منحنيات μ'' نحو القيم الأكبر بزيادة نسبة $\beta\text{-MnO}_2$

إذ أنه بزيادة نسبة الأوكسيد تزداد عدد الجزيئات النانوية التي تعمل على تشكيل عدد أكبر من الأزواج الأيونية، وهذا بدوره يؤدي إلى زيادة عزوم ثنائيات الأقطاب بشكل أكبر والتي لا تمتلك الوقت الكافي لتواكب تغيرات الحقل المغناطيسي المطبق وتغير اتجاه مغنطتها فينشأ تأخر في طور عزوم الدوران (delay phase) مسبباً زيادة الضياع المغناطيسي، الأمر الذي يحدد ميزات امتصاصية الأمواج الميكروية.

نلاحظ من الشكل (25) أنه بزيادة التردد المثالي تتناقص السماكة الموافقة لامتصاصية المثالية وهو ما يتوافق مع العلاقة (11)، لكنها تزداد بزيادة نسبة $\beta\text{-MnO}_2$ في المركب.



الشكل (25): تناقص سماكة العينة الموافقة لقمم الامتصاص المثالية مع زيادة التردد (8-12) GHz.

6- الخلاصة :

مما تقدّم نستخلص مجموعة من النقاط الهامة التالية والتي تعتبر دليلنا في تحديد نسب ومواصفات المادة المقترحة لعملية التعليب:

1- يعتبر المركب (β -MnO₂/PVDF) مادة ذات تخميد وامتصاصية عاليتين للأمواف الميكروية، بنسبة تخميد تراوحت بين % [83-96] ونسبة امتصاصية تراوحت بين % [60-86].

2- أظهرت العينة 3:7 أفضل قيم التخميد، حيث بلغت % 96 عند 8.23(GHz).

3- أظهرت العينة 2:8 أفضل امتصاصية، حيث بلغت % 86 عند 11.22(GHz).

4- تطابق في القيم النظرية لضياع الطاقة بالانعكاس والامتصاصية مع القيم التجريبية مما يؤكد صحة الدراسة النظرية.

5- إن زيادة نسبة الأوكسيد النانوي في المركب تعمل على انزياح قمم التخميد وضياع الطاقة بالانعكاس نحو الترددات الأخفض، وازدياد قيمة معامل الضياع المغناطيسي "μ"، بينما لا تؤثر على تغير شدة تلك القمم.

6- إن تناقص سماكة العينات تعمل على إزاحة قمم التخميد وفقدان الطاقة بالانعكاس نحو الترددات الأكبر، كما وتعمل على توسيع نطاق العمل الترددي

لنتلك القمم، فكلما تناقصت سماكة العينة زاد عرض المجال الترددي والعكس صحيح.

- 7- إن زيادة سماكة العينة تعمل على زيادة معامل التخميد لها والعكس صحيح.
- 8- إن قمم التخميد وقيم ضياع الطاقة بالانعكاس لها نفس التردد من أجل كل نسبة وكل سماكة.
- 9- إن أفضل الطرائق لتحسين معامل الضياع المغناطيسي " μ " هو زيادة نسبة الأوكسيد في المركب، تخفيض التردد المطبق، إنقاص سماكة العينة.

المراجع References

- 1- ESWARAI AH V.; SANKARANARAYANAN V.; RAMAPRABHU S., 2011- **Inorganic nanotubes reinforced polyvinylidene fluoride composites as low-cost electromagnetic interference shielding materials.** *Nanoscale Research Letters*, **6(137)**, 1-11.
- 2- WANG G.-S.; NIE L.-Z.; YU S.-H., 2012-**Tunable wave absorption properties of β -MnO₂ nanorods and their application in dielectric composites.** *The Royal Society of Chemistry*, **2**, 6216–6221.
- 3- KARMAN M.B.; HUSSEIN H.; YAKTY BSLAHLLO A., 2015- **Microwave Attenuation Using the System (β -MnO₂+PVDF),** *Res. J. of Aleppo University*, **(101)**,
- 4- SENTHILKUMAR M.; BALAMURUGA N.; JEYAPRAKASH BG., 2013- **Hydrothermal Synthesis of MnO₂ Nanoparticles using Teflon Lined Autoclave.** *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, **4**, 1627-1632.
- 5- SAXENA V.K.; CHANDRA U., 2011- **Microwave Synthesis: A Physical Concept.** *University of Rajasthan, Jaipur*, 1st ed, India, 370.
- 6- ZHAO X., ZHANG Z.; WANG L.; XI K.; CAO Q.; WANG D.; YANG Y.; DU Y., 2013-**Excellent microwave absorption property of Graphene-coated Fe nanocomposites.** *SCIENTIFIC REPORTS*, **3**, 1-5.
- 7- PETROV V. M.; GAGULIN V. V., 2000- **Microwave Absorbing Materials.** *INORGANIC MATERIALS*, **2(37)**, 93–98.
- 8- DIXON P., - **Theory and Application of RF/Microwave Absorbers.** *Emerson & Cuming Microwave Products*, Randolph, .
- 9- JIGBO G.; YUPING D.; LIDONG L.; LIYANG CHEN.; SHUNHUA L., 2011- **Electromagnetic and Microwave Absorption Properties of Carbonyl-Iron/Fe₉₁Si₉ Composites in Gigahertz Range.** *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, **3**, 140-146.

- 10-STUERGA D., 2006- **Microwave–Material Interactions and Dielectric Properties, Key Ingredients for Mastery of Chemical Microwave Processes.** *Microwaves in Organic Synthesis*, Second edition, Weinheim, 61.
- 11-ZHANG XJ.; WANG GS.; CAO WQ.; WEI YZ.; LIANG JF.; GUO L.; CAO MS.,2014- **Enhanced microwave absorption property of reduced graphene oxide (RGO)-MnFe₂O₄ nanocomposites and polyvinylidene fluoride.** *Pub Med.gov*, **6(10)**.
- 12-FOLGUERAS L.; REZENDE M., 2008- **Multilayer Radar Absorbing Material Processing by Using Polymeric Nonwoven and Conducting Polymer.** *Materials Research*, **3(11)**, 245-249.
- 13-RIDA K., 2013 - **Packaging of Microwave Integrated Circuits in LTCC Technology.** *HAL*, 195.
- 14-GUGULOTHU R.; BHALKE S.; LALKISHORE K.; DASARI R., 2019 - **Multi-chip Module Based GaAs MMICs Packaging for L-Band High Gain Application.** *IEEE*, 4.
- 15-GUGULOTHU R.; BHALKE S.; LALKISHORE K.; DASARI R., 2020 - **Improved Package Isolation for High Gain MMIC Packaging Using offset Port Selection Technique.** *IEEE*, 5.
- 16-HE Y.; CHEN Y.; DREW E.; ZHANG Z., 2019 - **Fabrication and Characterization of CoFe₂O₄ and MnFe₂O₄ Nanomagnetic Thin Films For RF Applications.** *IEEE*, 11.
- 17-MOTWE VD.; PURUSHOTHAM Y.; DOLE BN., 2012- **Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer- sized ZnO particles.** *Journal of Theoretical and Applied Physics*, **6(6)**, 1-8.
- 18-HONGTAO G.; GANG C.; SHUBO Z.; YUDE W., 2010- **Microwave absorption characteristics of manganese dioxide with different crystalline phase and nanostructures.** *Materials Chemistry and Physics*, **(124)**, 639–645.