

دراسة الخصائص الكهربائية في الجملة الثنائية MnO_2-NaVO_3 عند ترددات مختلفة

د. محمد ديب*

رشا حسام صالح**

(تاريخ الإيداع 12 / 4 / 2021. قُبِلَ للنشر في 19 / 8 / 2021)

□ ملخص □

حُضرت العينات ضمن الجملة الثنائية MnO_2-NaVO_3 عند نسب مولية مئوية مختلفة اعتماداً على الطريقة السيراميكية باستخدام MnO_2 اللابلوري، و $NaVO_3$ البلوري، وفق $(100-x)NaVO_3-xMnO_2$ ، من أجل النسب $(x = 5, 6, 10, 20, 25, 30, 33.33, 50, 66.66, 70, 71, 75, 80, 90)$ ثم لُبدت العينات عند الدرجة $450^\circ C$ لمدة 15 ساعة، ودرست الخصائص الكهربائية للعينات المحضرة كالمقاومة الكهربائية النوعية ρ ، الناقلية الكهربائية σ ، السعة الكهربائية C ، ثابت العزل النسبي ϵ_r ، وظل زاوية الفقد $\tan \delta$ ضمن مجال التردد (5Hz - 1MHz)، أظهرت النتائج ارتفاع قيم المقاومة النوعية لجميع العينات المحضرة، وتكون القيم الأكبر للمقاومة في العينات التي يزداد فيها تركيز ميتا فانادات الصوديوم، إضافة إلى ازدياد قيم الناقلية الكهربائية، والسعة الكهربائية، وثابت العزل النسبي، وظل زاوية الفقد مع ازدياد نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري.

الكلمات المفتاحية: ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري، ميتا فانادات الصوديوم البلوري، المقاومة الكهربائية النوعية، الناقلية الكهربائية، السعة الكهربائية، ثابت العزل النسبي، ظل زاوية الفقد.

* أستاذ - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** طالبة دكتوراه - قسم الكيمياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Study of Electrical Properties of the Binary System MnO_2 - NaVO_3 at Different Frequencies

Dr. Mohamad Deeb*
Rasha Hosam Saleh**

(Received 12 / 4 / 2021. Accepted 19 / 8 / 2021)

□ ABSTRACT □

Samples were prepared within the binary system MnO_2 - NaVO_3 at different molar percentages depending on the ceramic method using amorphous MnO_2 , and crystalline NaVO_3 , according to $(x)\text{MnO}_2$ - $(100-x)\text{NaVO}_3$, for the composite ratios ($x= 5, 6, 10, 20, 25, 30, 33.33, 50, 66.66, 70, 71, 75, 80, 90$) and the samples were sintered at 450°C for 15 hours, and the electrical properties of the prepared samples were studied, such as the specific electrical resistivity ρ , electrical conductivity σ , electrical capacitance C , and the relative dielectric constant ϵ_r , and the loss tangent $\tan\delta$ within the frequency range (5Hz -1MHz), the results showed that the resistivity values of all the prepared samples increased, and the higher values were in the samples with an increase in the concentration of sodium metavanadate, in addition to the increase in the values of electrical conductivity, and electrical capacitance, and the relative dielectric constant and the loss tangent with the increase in the content of amorphous manganese dioxide.

Keywords: amorphous manganese dioxide, crystalline sodium meta vanadate, specific electrical resistivity, electrical conductivity, capacitance, relative dielectric constant, tangent of loss angle.

*Professor – Chemistry Department – Faculty of Sciences – Tishreen University – Lattakia – Syria.

**PHD Student – Chemistry Department – Faculty of Sciences – Tishreen University – Lattakia – Syria.

مقدمة:

يُعد البحث عن المواد والمركبات الكيميائية التي تلعب الدور الأكبر في التطبيقات التقنية الحديثة أساس الدراسات العلمية والتوجهات البحثية الحالية، ويُعتبر ثنائي أكسيد المنغنيز البللوري MnO_2 من المركبات العازلة كهربائياً الهامة، حيث يتميز بسعة كهربائية واستطاعة عالية، مما يساعد في تخزين الشحنة الكهربائية بشكل كبير ولمدة طويلة، ويمكن أن يعمل ككاثود، لذلك يتم استخدامه في البطاريات القابلة لإعادة الشحن، ما يجعلها تتمتع بميزات هامة كارتفاع الكثافة الطاقية، والتكلفة المنخفضة، إضافة لأنها صديقة للبيئة [1]، كذلك فإن مينا فانادات الصوديوم البللوري NaVO_3 له أهمية كبيرة في العزل الكهربائي [2]، حيث يستخدم أيضاً ككاثود في البطاريات كبطارية أيون الصوديوم التي يمكن فيها الحفاظ على الشحنة لمدة طويلة وتعويض نقل الشحنة أثناء الشحن والتفريغ بسبب السلوك الفريد الذي يُبديه مينا فانادات الصوديوم NaVO_3 [3].

وعلى الرغم من أن أكاسيد المنغنيز البلورية لها أهمية كبيرة، فقد ركزت الكثير من الدراسات الحديثة على ثنائي أكسيد المنغنيز البللوري MnO_2 ، حيث أن الصفات التي يتمتع بها كالسعة الكهربائية العالية تساهم في الأداء العالي للبطاريات [4]، وازداد الاهتمام به عند استخدامه في بطاريات أيون الزنك المائية القابلة لإعادة الشحن بسبب سلامتها المُحسنة والكثافة الطاقية الحجمية العالية لها، ويعتبر ثنائي أكسيد المنغنيز البللوري من مواد الالكتروودات الهامة جداً والواعدة، إضافة إلى قدرته النظرية العالية والنوعية، فهو من المواد غير السامة ومنخفضة الكلفة [5]. ودرُس تطبيقه أيضاً في عدة أنواع من البطاريات مثل بطارية أيون الصوديوم، باستخدام حيود الأشعة السينية XRD، المجهر الالكتروني الماسح SEM، المجهر الالكتروني النافذ TEM، وأطياف رامان، التي أكدت جميع نتائجها على أهميته الكبيرة [6]. كما تم استخدام مينا فانادات الصوديوم NaVO_3 في العديد من أنواع البطاريات، الذي أظهر تحسّن صفاتها وأدائها [7]، حيث أنه يزيد قدرة البطاريات على تخزين الطاقة مما يطيل عمرها، ويساعد في زيادة قابلية الانعكاس وتعزيز الأداء الكهروكيميائي لها [8].

أهمية البحث وأهدافه:

يُعتبر هذا البحث من الأبحاث التي تأخذ حيزاً كبيراً في الدراسات العلمية الحالية، التي تركز على الذكاء الصناعي والتطور التكنولوجي خاصة في مجال البطاريات من أجل تحسين مواصفاتها، ويهدف البحث إلى دراسة الخواص الكهربائية للعينات المحضرة ضمن الجملة الثنائية $\text{MnO}_2\text{-NaVO}_3$ باعتبار أن هذه المواد ذات خواص نوعية في المجالات الصناعية والتطبيقية المختلفة، إضافة إلى دراسة اختلاف هذه الخواص وفق النسب المولية المثوية المحضرة.

طرائق البحث ومواده:

1. المواد المستخدمة
 - ثنائي أكسيد المنغنيز البللوري MnO_2 (s) بنقاوة 99%.
 - مينا فانادات الصوديوم البللوري NaVO_3 (s) بنقاوة 99%.
2. الأدوات والأجهزة المستخدمة
 - منخل يدوي، في مخبر فيزياء الجسم الصلب - كلية العلوم - جامعة تشرين.

- ميزان حساس (0.0001)، في مخبر كيمياء الصناعات اللاعضوية- كلية العلوم-جامعة تشرين.
- هاون من العقيق، في مخبر فيزياء الجسم الصلب- كلية العلوم-جامعة تشرين.
- مكبس هيدروليكي يدوي استطاعة 3 ton، في مخبر كيمياء الصناعات اللاعضوية- كلية العلوم-جامعة تشرين.
- فرن ترميد (Carbolite, BAMFORD, SHEFFIELD, ENGLAND, S30 2 AU)، في مخبر كيمياء الصناعات اللاعضوية- كلية العلوم-جامعة تشرين.
- بياكوليس رقمي، في مخبر فيزياء الجسم الصلب- كلية العلوم-جامعة تشرين.
- LCR meter (PM 6306) في قسم الفيزياء- المعهد العالي للبحوث التطبيقية والتكنولوجيا في دمشق.

3. تحضير العينات

اعتماداً على الطريقة السيراميكية، حضرت العينات ابتداءً من مساحيق المواد الأولية MnO_2 بالشكل البللوري، و $NaVO_3$ بالشكل البللوري، ضمن الجملة الثنائية $NaVO_3 - (100-x)MnO_2$ ، [9] من أجل النسب المولية المئوية التالية ($x=5, 6, 10, 20, 25, 30, 33.33, 50, 66.66, 70, 71, 75, 80, 90$)، كما يلي:

- نُخلت المواد باستخدام منخل يدوي للحصول على الحجم نفسه من الحبيبات.
- اعتماداً على الأوزان الجزئية للمواد المستخدمة ووزنت المواد الأولية وفق الصيغة $NaVO_3 - (100-x)MnO_2$ بتابعية النسب المولية المئوية ($x=5, 6, 10, 20, 25, 30, 33.33, 50, 66.66, 70, 71, 75, 80, 90$).
- أُجريت عمليتي الخلط والطحن اليدوي (معاً) بشكل جيد ضمن هاون من العقيق لمدة (7-8) ساعة لكل عينة، فكلما ازدادت مدة الخلط والطحن ازداد التجانس.
- حضرت العينات على شكل أقراص بوساطة مكبس هيدروليكي يدوي.
- سُخنت العينات في المرمدة عند الدرجة $150^\circ C$ لمدة 8 ساعات.
- أُعيدت عمليات الخلط والطحن اليدوي، ثم الكبس والتسخين بنفس الآلية ضمن المجال (150-450) درجة مئوية مع زيادة الحرارة 25 درجة في كل مرة حتى الوصول إلى الدرجة $450^\circ C$ ، ثم لُبِّدت العينات عند الدرجة $450^\circ C$ لمدة 15 ساعة.
- تمّ قياس القطر والسماكة بوساطة بياكوليس رقمي، ودرست الخصائص الكهربائية للعينات المحضرة ضمن مجال التردد (1MHz- 5Hz)، باستخدام جهاز LCR.

4. دراسة العينات

درست العينات المحضرة بوساطة:

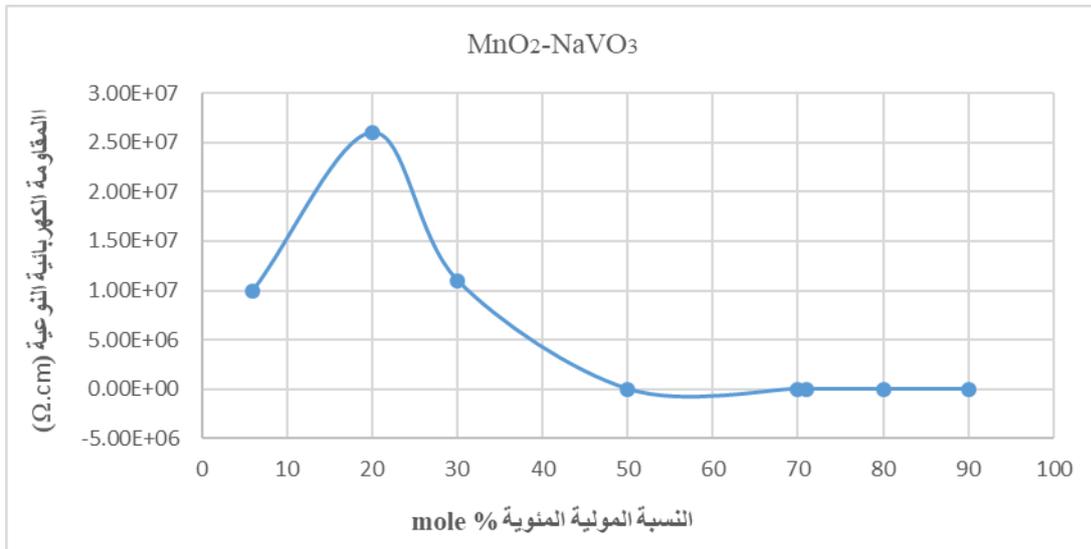
- جهاز LCR meter (PM 6306)، قطر لبوس المكثفة 1 cm.

النتائج والمناقشة:

1. تأثير النسبة المولية لـ MnO_2 على المقاومة الكهربائية النوعية ρ :

درست المقاومة الكهربائية النوعية ($\Omega.cm$) للعينات المحضرة وفق الجملة الثنائية $MnO_2 - (100-x)NaVO_3$ ضمن مجال التردد (1MHz- 5Hz)، و قطر لبوس المكثفة 1cm، باستخدام العلاقة $\rho = R \frac{A}{d}$ ، حيث أنّ R: المقاومة الكهربائية (Ω)، A: مساحة سطح القرص $(cm)^2$ ، d: سماكة القرص (cm) [10]، وبيّنت النتائج ارتفاع قيمة المقاومة الكهربائية النوعية لجميع العينات المحضرة، وتختلف قيمتها من نسبة مولية لأخرى، وتكون أعلى قيم المقاومة

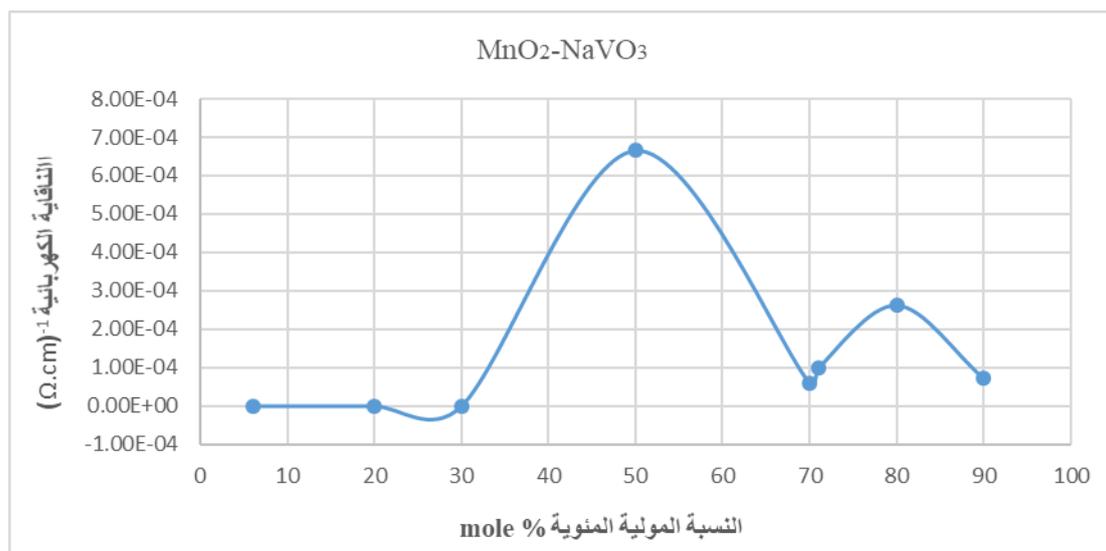
النوعية في العينات التي تنخفض فيها نسبة MnO₂ وتزداد نسبة NaVO₃، وهي على الترتيب (Ω.cm) (1.00.10⁺⁰⁷، 2.60.10⁺⁰⁷، 1.10.10⁺⁰⁷) عند النسب المولية المئوية (x=6، 20، 30)، وذلك بسبب اختلاف البنية البلورية في هذا المجال، وهو مجال تشكل مركب بلوري ومحلول صلب بلوري على أساسه، حيث درست بواسطة جهاز XRD وفق مخطط توازنات الأطوار للجملة الثنائية MnO₂-NaVO₃ الذي درس سابقاً [9]، الشكل (1):



الشكل (1): تغيرات المقاومة الكهربائية النوعية ρ بتابعة النسبة المولية لـ MnO₂

2. تأثير النسبة المولية لـ MnO₂ على الناقلية الكهربائية σ:

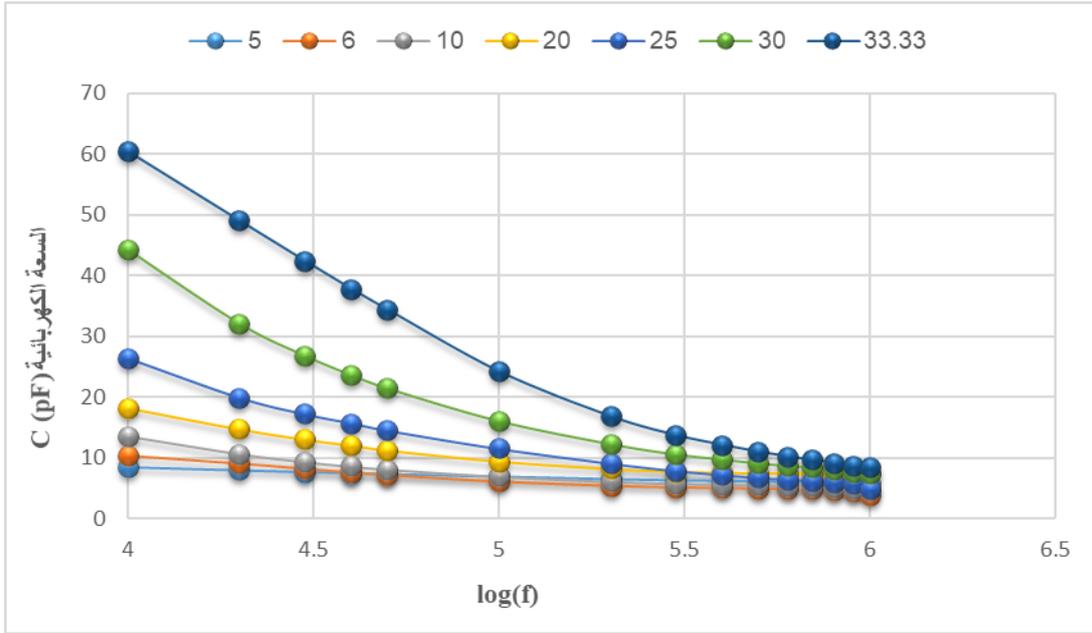
درست الناقلية الكهربائية (Ω.cm)⁻¹ للعينات المحضرة وفق الجملة الثنائية NaVO₃ - (100-x) MnO₂ بتطبيق العلاقة σ = 1/ρ [11]، وذلك من أجل تحديد النسب التي لها أعلى قيم ناقلية كهربائية بشكل واضح، والتي بينت ارتفاع قيمة الناقلية الكهربائية مع ازدياد نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري في العينات، وأعلى قيم للناقلية الكهربائية هي على الترتيب (Ω.cm)⁻¹ (6.67.10⁻⁰⁴، 2.63.10⁻⁰⁴) عند النسب المولية المئوية (x=50، 80)، وذلك بسبب اختلاف بنية المحاليل الصلبة المتشكلة التي درست سابقاً [9]، حيث أن النسب المولية (x=30-75) هي مجال تشكل طورين في حالة توازن (محلول صلب بلوري ومحلول صلب لابلوري)، وأن النسب المولية (x=80-90) هي مجال تشكل محلول صلب لابلوري، وفق الشكل (2):



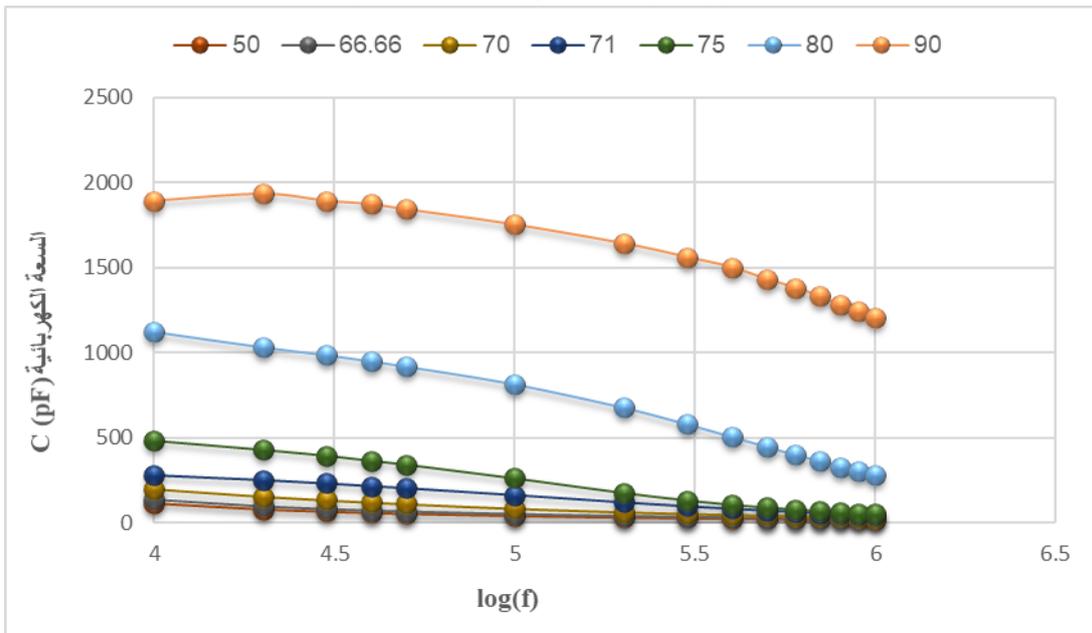
الشكل (2): تغيرات النفاذية الكهربائية σ بتابعة النسبة المئوية لـ MnO_2

3. تأثير التردد f على السعة الكهربائية C:

درست تغيرات السعة الكهربائية C للعينات المحضرة بوحدة بيكوفاراد pF وفق الجملة التثائية $(100-x) \text{MnO}_2 - x \text{NaVO}_3$ بتابعة التردد f ، حيث أظهرت نتائج الدراسة، ازدياد قيمة السعة الكهربائية مع زيادة نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز الابلوري في العينات وأن أكبر قيمة للسعة الكهربائية عند النسبة المئوية $(x=90)$. حيث تتغير البنية البلورية لـ ميتا فانادات الصوديوم ليتشكل مركب كيميائي ومحلول صلب بلوري على أساسه، وصولاً إلى طورين في حالة توازن وبعدها يتشكل المحلول الصلب الابلوري، وتزداد في هذا المجال نسبة MnO_2 الابلوري وخواصه ذات السعة الكهربائية العالية [9]، يوضح الشكل (3) تغيرات قيم السعة الكهربائية للعينات المحضرة عند النسب المئوية المثوية $(x=5, 6, 10, 20, 25, 30, 33.33)$ التي تتراوح ضمن المجال pF (8.48 – 60.4)، لتزداد بعدها قيم السعة بشكل كبير مع ازدياد نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز الابلوري في العينات، ويوضح الشكل (4) تغيرات قيم السعة الكهربائية للعينات المحضرة عند النسب المئوية المثوية $(x=50, 66.66, 70, 71, 75, 80, 90)$ التي تتراوح ضمن المجال pF (112 - 1890).



الشكل (3): تغيرات السعة الكهربائية C بتابعة التردد f

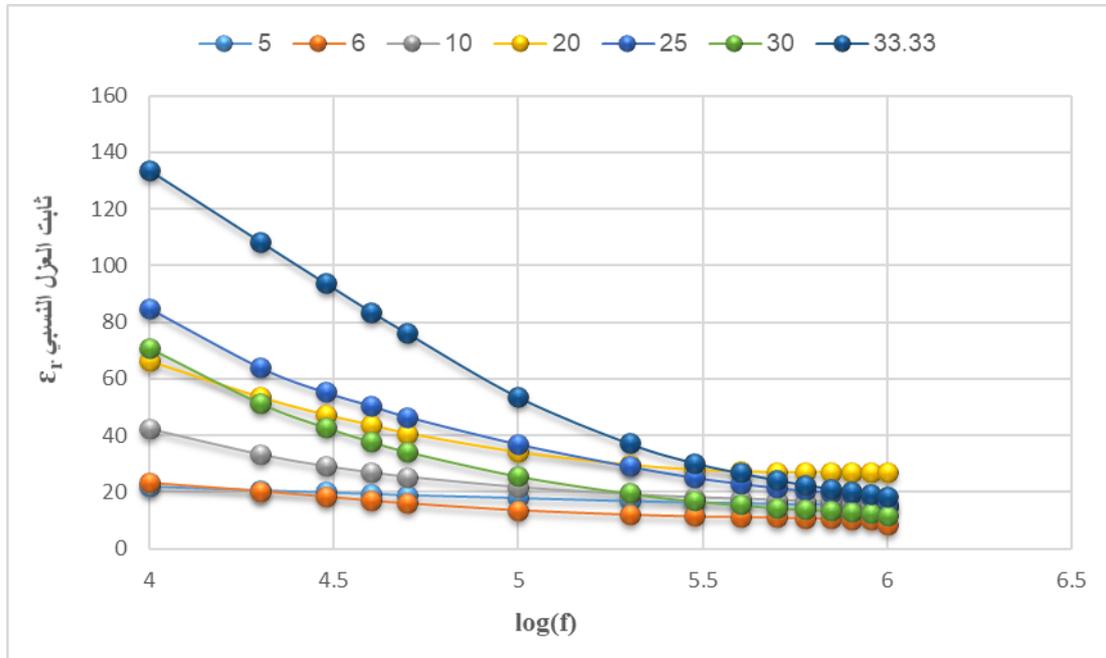


الشكل (4): تغيرات السعة الكهربائية C بتابعة التردد f

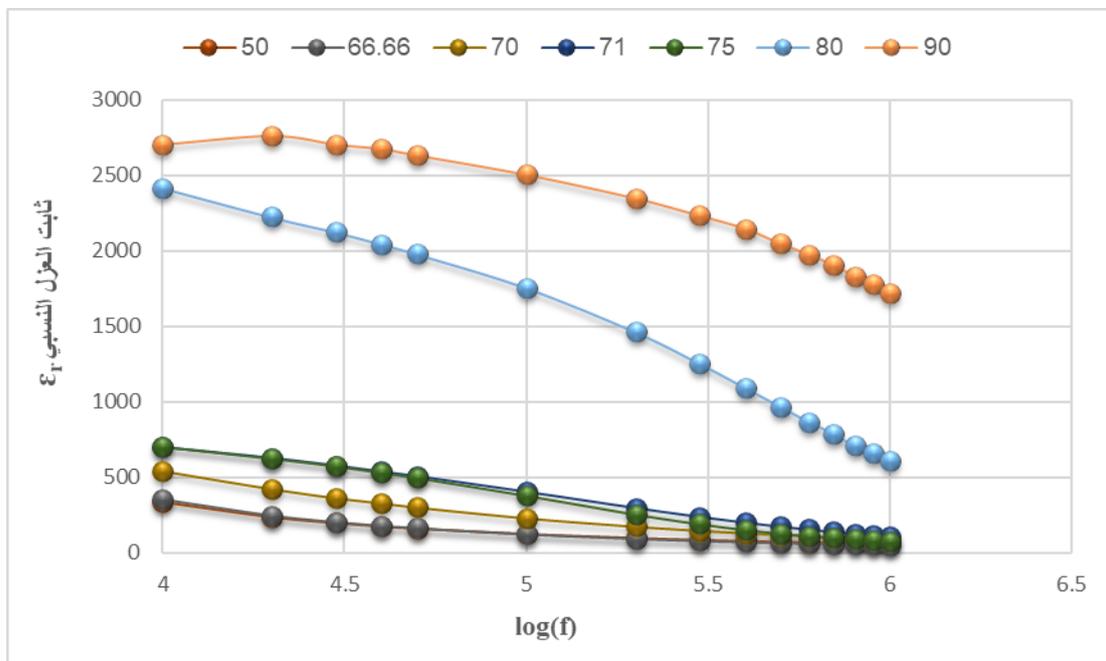
4. تأثير التردد f على ثابت العزل الكهربائي النسبي ϵ_r :

دُرست تغيرات ثابت العزل الكهربائي النسبي ϵ_r للنسب المُحضّرة في الجملة الثنائية $(x)\text{MnO}_2 - (100-x)\text{NaVO}_3$ بتابعة التردد f وفق العلاقة $\epsilon_r = 11.3 C \cdot \frac{d}{A}$ ، حيث (C in unit pF)، والأبعاد (d, A in unit cm) [12]، التي بيّنت ازدياد قيمة ثابت العزل الكهربائي النسبي ϵ_r مع زيادة نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري في العينات، الذي يتميز بثابت عزل كهربائي مرتفع، حيث أن أكبر قيمة عند النسبة المولية المئوية (90=x)، يوضّح الشكل (5) تغيرات قيم ثابت العزل الكهربائي النسبي للعينات المحضّرة عند النسب المولية المئوية (x=5، 6، 10، 20، 25، 30، 33.33)، وتتراوح ضمن المجال (22.10 – 133.62)، لتزداد بعدها قيم ثابت العزل بشكل كبير مع ازدياد نسبة ثنائي

أكسيد المنغنيز اللابلوري في العينات، ويوضّح الشكل (6) تغيرات قيم ثابت العزل الكهربائي النسبي للعينات المحضّرة عند النسب المولية المئوية (50=x، 66.66، 70، 71، 75، 80، 90) التي تتراوح ضمن المجال (2702.04 – 338.88).



الشكل (5): تغيرات ثابت العزل الكهربائي النسبي ϵ_r بتابعية التردد f



الشكل (6): تغيرات ثابت العزل الكهربائي النسبي ϵ_r بتابعية التردد f

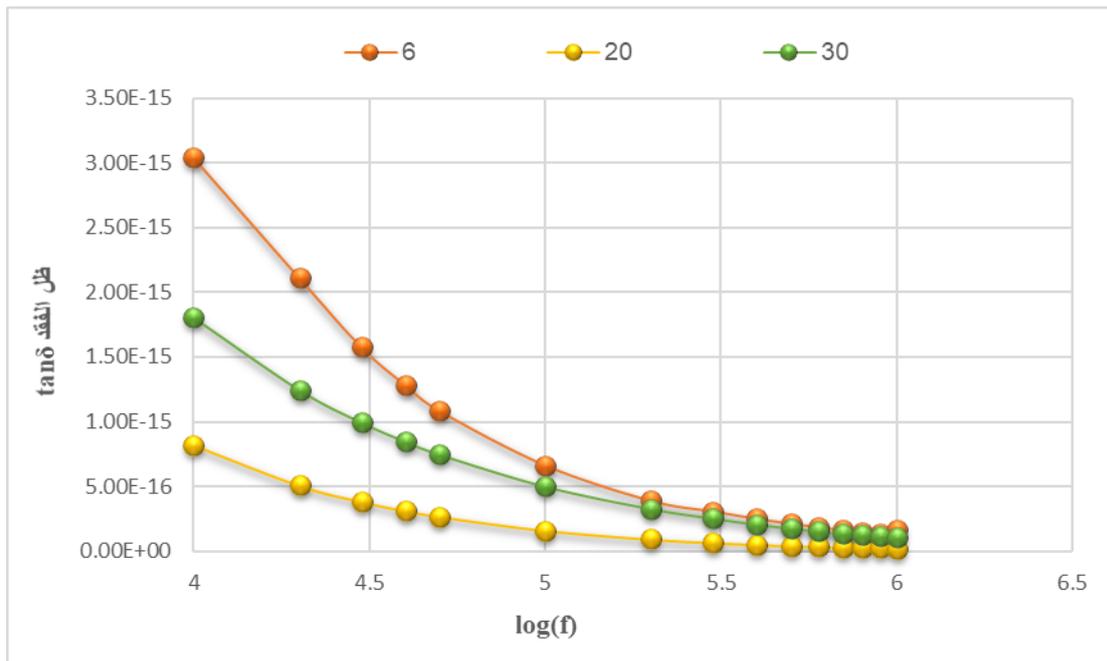
5. تأثير التردد f على ظل زاوية الفقد tanδ:

تُعبّر tanδ عن مقدار الطاقة المبدّدة في المادة العازلة، فمن أجل قيم صغيرة لظل زاوية الفقد تكون المادة جيدة العزل، ومن أجل قيم كبيرة تكون الطاقة المبدّدة كبيرة في المادة العازلة.

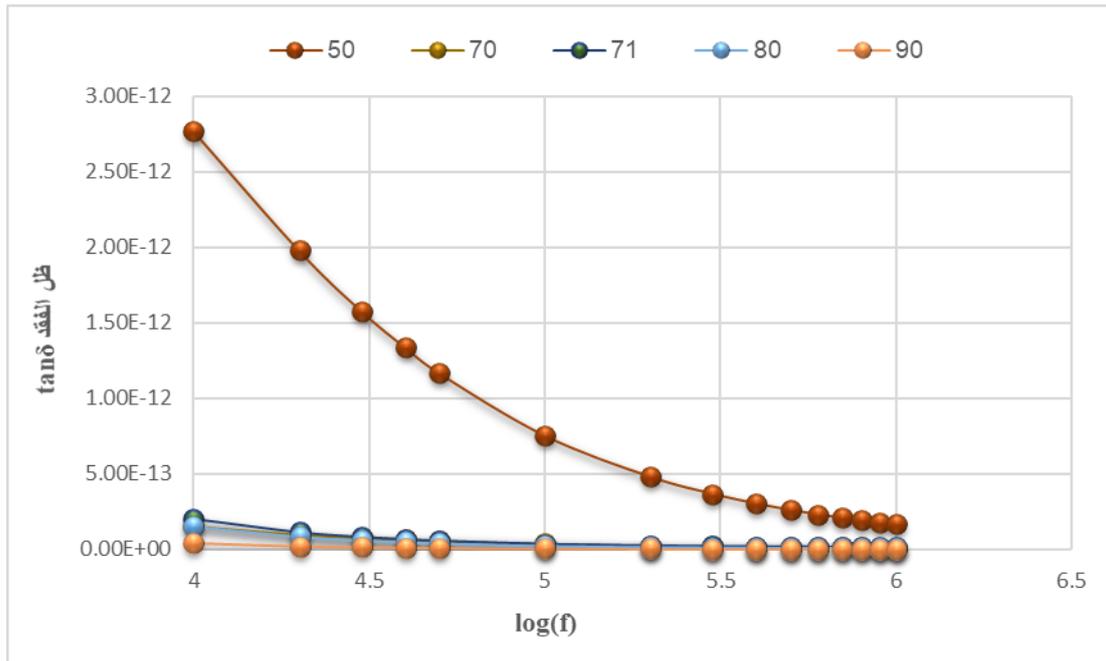
وقد دُرست تغيرات ظل زاوية الفقد tanδ للنسب المولية المئوية المحضّرة في الجملة الثنائية (100-x)MnO₂-(x)NaVO₃ بتابعية التردد f وفق العلاقة $\tan\delta = 1/(\rho \cdot \omega \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_r)$ ، حيث $\omega = 2 \times \pi \times f$ ، ω : التردد الزاوي (rad/sec)، f: التردد (Hz) [13]، التي تبيّن أنّ tanδ تتناسب عكساً مع المقاومة النوعية.

أظهرت النتائج أنّ أخفض قيمة لظل زاوية الفقد tanδ عند النسبة المولية المئوية (20 =x)، التي تملك أعلى قيمة للمقاومة النوعية وفق الشكل (1)، وأنّ أعلى قيمة لظل زاوية الفقد عند النسبة المولية المئوية (50 =x)، التي تملك أعلى قيمة للناقلية الكهربائية وفق الشكل (2).

يوضّح الشكل (7) تغيرات قيم ظل زاوية الفقد tanδ للعينات المحضّرة عند النسب المولية المئوية (6=x، 20، 30)، لتزداد بعدها قيم ظل زاوية الفقد بشكل كبير مع ازدياد نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري في العينات، وذلك بسبب تغير البنية البلورية والمحاليل الصلبة الناتجة، حيث يوضّح الشكل (8) تغيرات قيم ظل زاوية الفقد للعينات المحضّرة عند النسب المولية المئوية (50=x، 70، 71، 80، 90).



الشكل (7): تغيرات ظل زاوية الفقد tanδ بتابعية التردد f



الشكل (8): تغيرات ظل زاوية الفقد $\tan \delta$ بتابعة التردد f

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- ارتفاع قيمة المقاومة الكهربائية النوعية ρ في جميع النسب المئوية المحضرة، وتكون أعلى القيم عند زيادة نسبة NaVO_3 في العينات المحضرة، حيث تزداد قيم المقاومة النوعية بشكل كبير عند النسب المولية المئوية ($x=6$ ، 20، 30) وهو مجال تشكل المركب الكيميائي الجديد والمحلول الصلب البلوري، وفق مخطط توازنات الأطوار للجملة الثنائية $\text{NaVO}_3\text{-MnO}_2$.
- ارتفاع قيمة الناقلية الكهربائية σ عند النسب المولية المئوية ($x=50$ ، 70، 71، 80، 90) مع ازدياد نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري في العينات.
- ازدياد قيمة السعة الكهربائية C مع زيادة نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري في العينات، حيث أن أعلى قيمة عند النسبة المولية لمئوية ($x=90$).
- ازدياد قيمة ثابت العزل الكهربائي النسبي ϵ_r مع زيادة نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري في العينات، حيث أن أعلى قيمة عند النسبة المولية المئوية ($x=90$).
- أخفض قيمة لظل زاوية الفقد $\tan \delta$ عند النسبة المولية المئوية ($x=20$) التي تقابل أعلى قيمة للمقاومة النوعية، وأعلى قيمة لظل زاوية الفقد عند النسبة المولية المئوية ($x=50$) التي تقابل أعلى قيمة للناقلية الكهربائية، حيث تتغير القيم مع تغير نسبة ثنائي أكسيد المنغنيز اللابلوري، وفق:

$$\tan \delta < \tan \delta (x=6) < \tan \delta (x=90) < \tan \delta (x=80) < \tan \delta (x=70) < \tan \delta (x=71) < \tan \delta (x=50)$$

$$\tan \delta (x=20) < (x=30)$$

التوصيات:

تطبيق النسب المولية المثوية للعينات المحضرة في الجملّة الثنائية $\text{MnO}_2\text{-}(100-x)\text{NaVO}_3$ ضمن البطاريات بهدف تطويرها وزيادة استطاعتها، وذلك بسبب القيم المرتفعة التي تم الحصول عليها للمقاومة الكهربائية النوعية، السعة الكهربائية، ثابت العزل الكهربائي النسبي، وظل الفقد.

References:

1. Cai, Yi; Chua, Rodney; Huang, Shaozhuan; Ren, Hao; Srinivasan, Madhavi. *Amorphous manganese dioxide with the enhanced pseudocapacitive performance for aqueous rechargeable zinc-ion battery*. ScienceDirect. Vol. 396, 2020, 1-8.
2. Khan, A; Ghare, D; Narayanan, P. *Dielectric and pyroelectric properties of sintered discs of sodium meta vanadate*. Bull Mater Science. Vol. 5, No. 2, 1983, 133-137.
3. Zhang, Jiaolong; Su, Bizhe; Kitajou, Ayuko; Fujita, Manabu; Cui, Yunlin; Oda, Mami. *Activating abnormal capacity in stoichiometric NaVO_3 as cathode material for sodium-ion battery*. ScienceDirect. Vol. 400, 2018, 377-382.
4. Wu, Yang; Fee, Jared; Tobin, Zachary; Shirazi-Amin, Alireza; Kerns, Peter; Dissanayake, Shanka; Mirich, Anne; Suib, Steven. *Amorphous Manganese Oxides: An Approach for Reversible Aqueous Zinc-Ion Batteries*. ACS Applied Energy Materials. Vol. 3, 2020, 1627-1633.
5. Zhang, Wanhong; Zhai, Xiaoliang; Zhang, Yansong; Wei, Huijie; Ma, Junqing; Wang, Jing; Liang, Longlong; Liu, Yong; Wang, Guangxin; Ren, Fengzhang; Wei, Shizhong. *Application of Manganese-Based Materials in Aqueous Rechargeable Zinc-Ion Batteries*. Frontiers in Energy Research. Vol. 8, No. 195, 2020, 1-9.
6. Zhou, Yirong; Chen, Tong; Zhang, Junxi; Liu, Yao; Ren, Ping. *Amorphous MnO_2 as Cathode Material for Sodium-ion Batteries*. Chin. J. Chem. Vol. XX, 2017, 1-X.
7. Wan, Fang; Zhang, Linlin; Dai, Xi; Wang, Xinyu; Niu, Zhiqiang; Chen, Jun. *Aqueous rechargeable zinc/sodium vanadate batteries with enhanced performance from simultaneous insertion of dual carriers*. NATURE COMMUNICATIONS. Vol. 9, 2018, 1-11.
8. She, Binghong; Shan, Lutong; Chen, Huijie; Zhou, Jiang; Guo, Xun; Fang, Guozhao; Cao, Xinxin; Liang, Shuquan. *Investigation of sodium vanadate as a high-performance aqueous zinc-ion battery cathode*. ScienceDirect. Vol. 37, 2019, 172-175.
9. Deeb, Mohamad; Saleh, Rasha. Study of the phase Equilibrium in the diagram system $\text{MnO}_2\text{-NaVO}_3$. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies. Vol (39) No (6) 2017, 125-135.
10. Al Araj, Badr; Ghaliye, Samir; Zarti, Alaa. Study the electrical properties of Co Zn - ferrites doped by Ni at different frequencies. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies. Vol (37) No (3) 2015, 111-120.
11. SACHLARI, L; REZLESCU, E; REZLESCU, N. *Influence of Pb O on properties of Mg Cu Zn ferrites*. phys.stat. Apolonia university. 2000, 140-149.
12. Alaraj, Bader; Abbas, Mofeed; Alshakh, Ruba. Study in Relative Permittivity of Metals. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies. Vol (42) No (4) 2020, 117-126.
13. Alaraj, Bader; Mohammad, Lwae; Mohammad, Mohammad. Study the electrical properties of tin-doped barium titanate ceramics. Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies. Vol (38) No (6) 2016, 127-141.