

PARTIAL EFFECT OF (SrTiO₃) NANO ON STRUCTURAL, ELECTRICAL, MAGNETIC CHARACTERISTICS OF SUPERCONDUCTORS COMPOUND YBa₂Cu₃O_{7-δ} AT HIGH TEMPERATURE DEGREES

Falah Mohammed ABED¹

Al-Dour technical Institute -Northern Technical University , Iraq

Abdulkareem DASH ALI²

College of Education for Pure Sciences, Tikrit University, Tikrit, Iraq

Ismael Kalil JASIM³

College of Education for Pure Sciences, Tikrit University, Tikrit, Iraq

Abstract

Three samples of (YBa₂Cu₃O_{7-δ}) were prepared for the research samples by using – solid interaction status method and annealing method under pressure of 8tan/CM² ,at temperature 800oC via partial particles compensation of (SrTiO₃) Nano in the rates (X=1.5X=1 X=0.5,) of the element Ba . The electrical inspections indicated large increase of critical temperature value T_c, upon compensation of the substance with value X=0.5 for Ba value, whereas critical temperature degree value reached 133k value, but decreased clearly upon compensation of substance X=1 for Ba value, whereas critical temperature degree value T_c reached 102.2K and when the substance compensated with value X=1.5 , improved critical temperature degree value to 122.2K T_c. The formation inspections of rays deviance indicated an obvious existence trapezium structure which existed in the three value in different variations of net distances A,B,C there was obvious increase in C distance . and upon inspections of Sample by FESEM instrument and in amplification rate of 100.00kx--500kx, it was found that granular size rate for the best sample was 33.38 in sample X=0.5 and the images of three samples indicated high accuracy and very detailed and shows makeup formation is bright which was related to light substances and dark areas related to heavy substances. The magnetic inspections indicated through Hystereris curve of the samples and the relationship between magnetic saturation MS and remained magnetic Mr and coerced force H_c and Represent Hystereris circles made-up in superconductors samples complete contrary relation between narrow of circles and improve of critical temperature degree T_c.

Keywords: SrTiO₃, YBa₂Cu₃O_{7-δ}, High Temperature Degrees.

 <http://dx.doi.org/10.47832/2717-8234.11.30>

¹  falah.ma@ntu.edu.iq

²  Abdelkareemdashali2290@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2210-6132>

³  prof.I.K.Jassim@gmail.com

تأثير التعويض الجزئي لجسيمات أكسيد السترونتيوم والتيتانيوم SrTiO₃ النانوي على الخواص التركيبية والكهربائية والمغناطيسية للمركب الفائق التوصيل الكهربائي YBa₂Cu₃O_{7-δ} عند درجات الحرارة العالية

فلاح محمد عبد 4
عبد الكريم دهش علي 5
اسماعيل خليل جاسم 6

الملخص:

في هذا البحث تم تحضير ثلاث نماذج من العينات YBa₂Cu₃O_{7-δ} بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وباستخدام طريقة التلدين وتحت ضغط 8 tan/cm² ودرجة حرارة 800°C وذلك بالتعويض الجزئي لجسيمات أكسيد السترونتيوم والتيتانيوم SrTiO₃ النانوي بنسب X=0.5, X=1, X=1.5 من قيم العنصر Ba للمركب أظهرت الفحوصات الكهربائية زيادة كبيرة في قيمة درجة الحرارة الحرجة Tc عند تعويض المادة بقيمة X=0.5 لقيم Ba حيث وصلت درجة الحرارة الحرجة Tc إلى قيمة 133 k لكنها انخفضت بشكل واضح عند التعويض المادة X=1 لقيم Ba حيث وصلت درجة الحرارة الحرجة Tc إلى 102.2 K وعند تعويض المادة بقيمة X=1.5 تحسنت إلى درجة حرارة حرجة Tc 122.2 K ان فحوصات التركيبية لحيود الأشعة للنماذج أظهرت وجود طور معيني قائم في القيم الثلاث مع اختلافات متفاوتة في ابعاد الشبكة a, b, c مع زيادة واضحة في البعد c وعند فحص العينات بجهاز FESEM وبمعدل تكبير 100.00kx500 وجد ان معدل الحجم الحبيبي لأفضل النماذج كان 33.38 عند العينة X=0.5 وتظهر الصور للعينات الثلاث صور عالية الدقة ومفصلة جدا ويظهر تكون هياكل فاتحة تعود إلى العناصر الخفيفة ومناطق داكنة تعود إلى العناصر الثقيلة وأظهرت الفحوصات المغناطيسية من خلال منحنى الهسترة للعينات والعلاقة بين مغناطيسية التشبع Ms والمغناطيسية المتبقية Mr والقوة المرغمة Hc ان حلقات الهسترة المتكونة في عينات التوصيل الفائق تكون ضيقة جدا وان هناك علاقة عكسية تماما بين ضيق الحلقات وتحسن درجة الحرارة الحرجة Tc.

الكلمات المفتاحية: (SrTiO₃)، YBa₂Cu₃O_{7-δ}، درجات الحرارة العالية.

المقدمة:

تفقد بعض المواد جميع مقاومتها لتيار الكهربائي بدرجات حرارية فائقة الانخفاض وتسمى هذه الظاهرة بتوصيلية الفائقة Superconductivity وتسمى درجة حرارة التي تتحول فيها إلى موصلات فائقة بدرجة حرارة التحول أو درجة الحرارة الحرجة cortical temperature ولهذه المواد خاصية أخرى أيضاً في سلوكها المغناطيسي وهي رفض المجال المغناطيسي وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة مزنر [1]. حصلت بعد ذلك قفزة متميزة في سجل المواد فائقة التوصيل عندما نشر كل من جورج بدنورز وكارل ميولر تقرير عام 1986 في نجاحهما بتحضير مركب سيراميكي هو-La Ba-Cu-O درجة تحوله في حدود 30 كلفن وقد استحق العالمان جائزة نوبل وسرعان ما قاد ذلك الاكتشاف مجموعة البحث في جامعة هيوستن بالتعاون مع مجموعة مماثلة في جامعة ألباما المريكيتين إلى استبدال عنصر الألتانسيوم بعنصر اليتريوم للحصول على السيراميك Y-Ba-Cu-O والذي فاقت حرارة تحوله ولأول مرة في التاريخ درجة الغليان لغاز النيتروجين والبالغة 77 كلفن. لقد وصلت حرارة التحول إلى أكثر من 90 كلفن لذلك المركب الذي اكتشف في عام 1987 [2] يتميز التركيب البلوري للمركب YBa₂Cu₃O_{7-δ} بترتيب مستويات وسلاسل النحاس والأوكسجين يكون تسلسل طبقات YBCO على طول المحور C للبلورة Cu-BaO، CuO₂-Y-CuO₂-BaO [3] تم اجراء بحوث كبيرة عن الخواص التركيبية والكهربائية والمغناطيسية على خصائص مركب التوصيل الفائق YBa₂Cu₃O₇ حيث درس Nasri وآخرون عام 2011 تأثير إضافة جسيمات MgO النانوية على مركبات الفائقة Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₈ التوصيل فوجدوا بان عند إضافة 5% من جسيمات MgO تعطي أفضل خواص ميكانيكية وكهربائية [4] بينما حضر Asbullah وآخرون عام 2012 مركبات Bi₂223 بعد إضافة MgO النانوية لها وبنسب 10%، 8%، 6%، 4%، 2% بالترتيب فوجدوا بان أفضل نسبة كانت تتراوح بين 6%، 4% والتي اعطت أفضل نتائج [5]. درست Ghazala وآخرون عام

⁴المعهد التقني الدور الجامعة التقنية الشمالية، العراق، falah.ma@ntu.edu.iq

⁵كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق، Abdelkareemdahashai2290@gmail.com

⁶كلية التربية للعلوم الصرفة، جامعة تكريت، تكريت، العراق، prof.I.K.Jassim@gmail.com

2014 تأثير تعويض MnO جزئياً على Ca في مركبات $\text{Bi}_{1.7}\text{Pb}_{0.3}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ الفائق التوصيل وبنسب 0،0.1،0.2،0.3،0.4،0.5 فوجد بان أفضل نسبة عند $X=0.3$ التي اعطت أفضل نتائج عند استخدام المجهر الكروني الماسح [6] .الباحث Jabbar Abdul عام 2015 درس تأثير إضافة حبيبات Au النانوية على مركبات $\text{Bi}_2\text{2223}$ فائق التوصيل فلاحظ بأنها احتفظت بتركيبها الرباعي القائم كلما ازداد التعويض مع زيادة بقيم Tc [7] . قاما Jannah & Abdshukor عام 2017 بدراسة الخصائص التركيبية عند إضافة جسيمات Co_3O_4 النانوية إلى مركب $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ فوجدوا انه عند إضافة 0.1 من هذه الجسيمات تعطي أفضل خواص تركيبية تودي إلى زيادة قيم Tc إلى 102 k [8] .

Alyaa وأخرون عام 2019 درسوا تأثير تعويض Ag_2O النانوي على المركبات $\text{Ti}_{1.6}\text{Hg}_{0.4}\text{Ag}_x\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ الفائق التوصيل عند $X=0$ ، 0.1، 0.05، 0.2 فأزدات قيمة Tc من 120 k إلى 130 k يهدف البحث المقدم إلى ايجاد أفضل نسبة تعويض لجسيمات Al_2O_3 النانوي على المركبات $\text{Bi}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ الفائق التوصيل وعلى هيئة مترابك وذلك لتحسين خواصها التركيبية والكهربائية ولحصول على أعلى قيمة لدرجة الحرارة الحرجة [9] .

درس Foud و Hussain عام 2020 تأثير إضافة Al_2O_3 النانوي على الخواص التركيبية والكهربائية للمركب $\text{Bi}_2\text{Ba}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}$ أظهرت الإضافة بان قيمة Tc تزداد من 126 k إلى 139 k مع زيادة قيمة التعويض من $X=0$ إلى $X=0.5$ [10] .

يهدف هذا البحث إلى التوصل إلى أفضل نسبة استبدال لجسيمات SrTiO_3 النانوية على المركب $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ الفائق التوصيل الكهربائي لتحسين الخواص التركيبية والكهربائية والمغناطيسية وكذلك الحصول على درجة حرارة حرجة أعلى.

2.1. تحضير العينات :

حضرت العينات باستخدام الايتروم اكسيد Y_2O_3 وأكسيد الباريوم BaO، وأكسيد النحاس CuO و أكسيد السترونتيوم والتيتانيوم SrTiO_3 النانوي بعد وزنها بميزان حساس واعتمادا على وزنها الذرية مع مراعاة إضافة أكسيد السترونتيوم والتيتانيوم SrTiO_3 النانوي وبنسب $X=0.5$ ، $X=1$ ، $X=1.5$ من قيم العنصر Ba للمركب فائق التوصيل الكهربائي $\text{YBa}_{2-x}(\text{SrTiO}_3)_x\text{Cu}_3\text{O}_7$

يتم مزج هذه المساحيق وذلك بعد وضعها في هاون من العقيق Agate mortar ويستمر الطحن ويتم إضافة كحول ايزوبروبانول propanol لتسهيل عملية الطحن إلى ان نحصل على مسحوق متجانس، وللتخلص من الكحول الموجودة في المركب توضع داخل فرن كهربائي لمدة ساعة واحدة وبدرجة 100°C ثم يتم وزن العينات بعد التسخين تكبس العينات على هيئة اقراص بقطر 15 mm وسمك 2 mm وذلك باستخدام مكبس هيدروليكي وبضغط 8 tan/cm^2

ثم توضع الاقراص في فرن كهربائي ويتم اختيار درجة 800°C مراعاة لدرجة انصهار المواد المكونة للمركب. ويستمر التسخين من درجة حرارة الغرفة وبمعدل $120\text{ C}^\circ/\text{hr}$ إلى درجة 600°C لتسمى هذه العملية بعملية التلبيد sintering، بعدها يتم ضخ الأوكسجين في الفرن ويتم رفع درجة الحرارة من 600°C إلى 800°C وبمعدل $20\text{ C}^\circ/\text{hr}$ لتسمى هذه العملية بالتلدين (Annealing) تبقى العينات بهذه الدرجة داخل الفرن لمدة 24 مع الاستمرار بضغط الأوكسجين بعدها يبرد وبمعدل $5\text{ C}^\circ/\text{hr}$ إلى ان تصل لدرجة حرارة الغرفة. ان عمليتي التلبيد والتلدين لها دور كبير للتخلص من العيوب التركيبية والتصنيعية للمركبات وكذلك تقوم هذه المركبات بأخذ قالبها التركيبية . [11]

2.2 القياسات الكهربائية للعينات :

تستخدم هذه القياسات لحساب درجة حرارة التحول T_c وذلك بعد قياس مقاومة العينات. وباستخدام الأجهزة التالية:

منظومة تبريد (Cryostat System) تعمل بالنروجين السائل، مجهز قدرة مستمر (D.C power supply)، فولتميتر رقمي نانوي (Digital Nano voltmeter)، اميتر (Ammeter)، جهاز قياس درجات الحرارة (Digital Nano voltmeter) و مضخة مفرغة. (Rotary Pump) حيث يتم دراسة تغير المقاومة مع درجة الحرارة و باستخدام المنظومة والتي تعمل بالنروجين السائل وبذلك يتم حساب T_c على اساس انها منتصف المسافة بين بداية هبوط المقاومة ونهاية هبوط المقاومة اي أن:

$$T_c = T_{c \text{ on}} + T_{c \text{ off}} / 2 \quad (1)$$

3.2 القياسات التركيبية للعينات:

تم استخدام جهاز حيود الأشعة السينية (XRD) وباستخدام المعادلة التالية :-

$$2d \sin \theta = n \lambda \quad (2)$$

d المسافة بين مسطحين متوازيين من مسطحات البلورة

λ طول موجة الأشعة

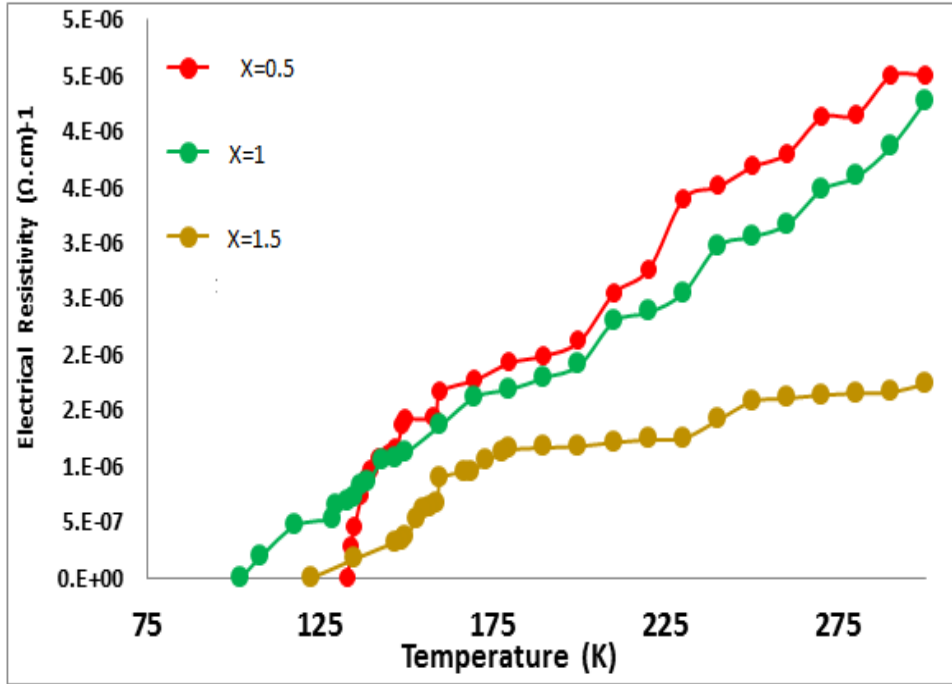
θ زاوية السقوط (الزاوية الموجة الساقطة ومستوى التشتت)

n عدد صحيح يحدد درجة الحيود

وباستخدام برنامج X'Pert HighScore Plus تم ايجاد معاملات ميلر hkl وايجاد أفضل تطابق بين النماذج للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ وأظهر بان جميع النماذج من النوع المعيني القائم (Orthorhombic) [12]

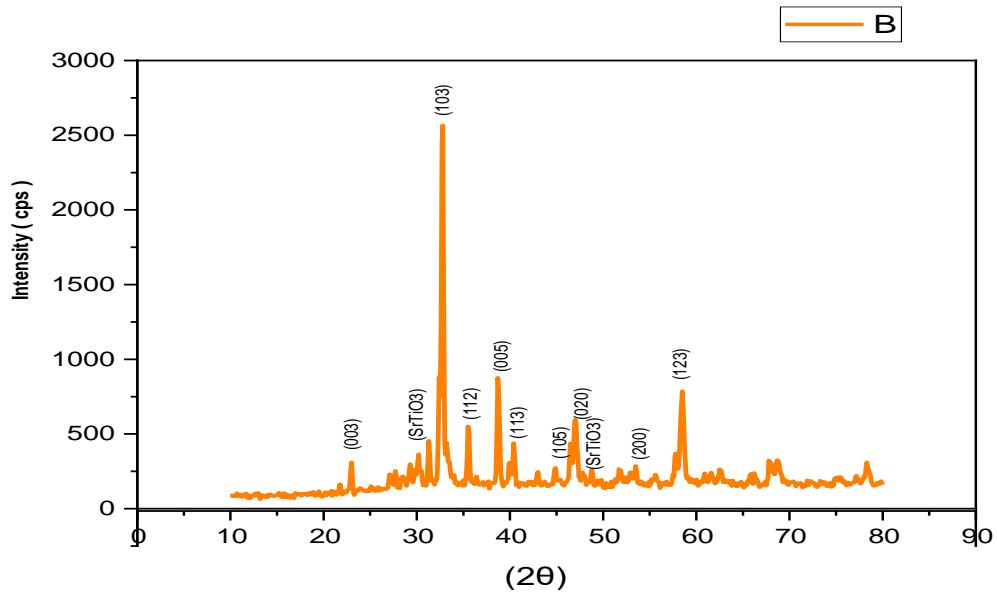
3 . النتائج والمناقشة:

أظهرت دراسة الخصائص الكهربائية للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ ان أفضل درجة الحرارة الحرجة T_c هي عند التعويض $X=0.5$ حيث وصلت إلى 133 k ولكنها انخفضت بشكل واضح عند التعويض $X=1$ حيث وصلت إلى 102.2 k وتحسنت عند التعويض $X=1.5$ حيث وصلت إلى 122.2 k وكما في الشكل 1

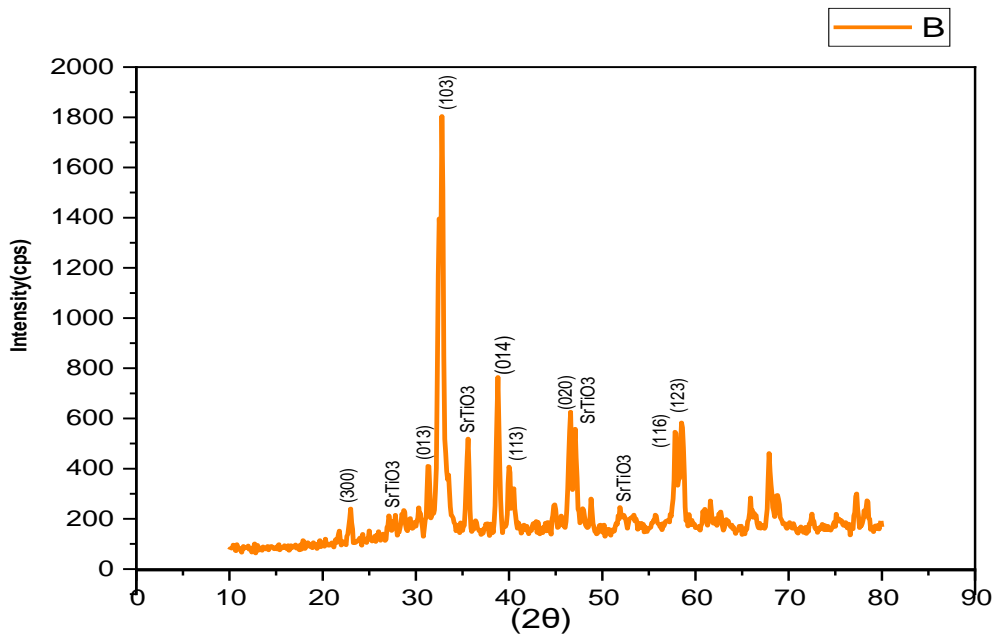


شكل 1 : يبين تغير المقاومة مع درجة الحرارة للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $X=0.5$ ، $X=1$ ، $X=1.5$

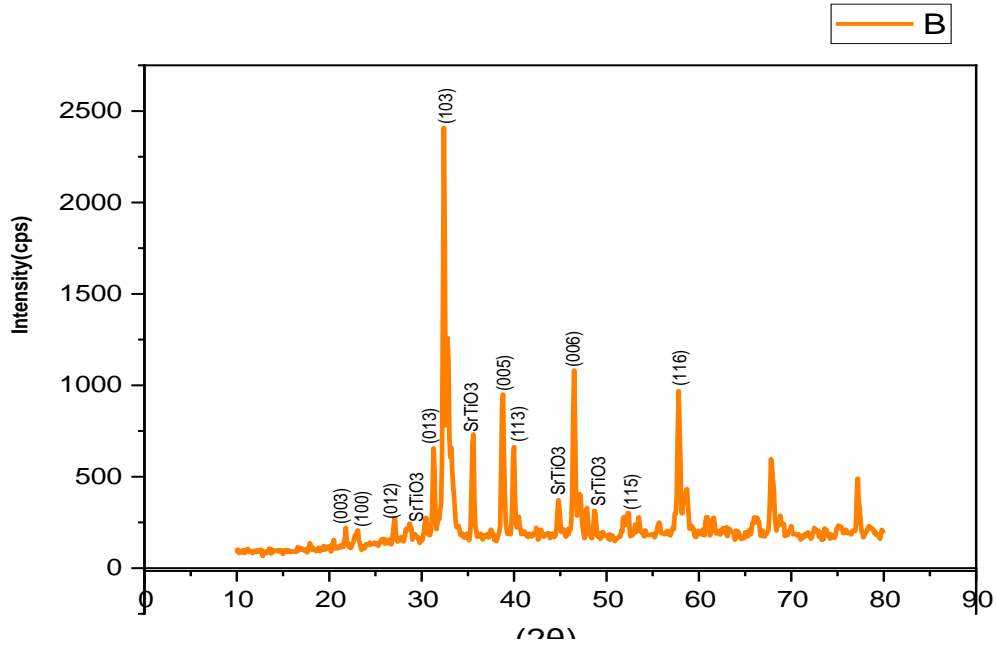
أظهرت دراسة حيود الأشعة السينية للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ وباستخدام برنامج X'Pert HighScore Plus وقانون براك في الحيود تم حساب قيم معاملات ميلر (hkl) ومن ثم حساب قيم ابعاد وحدة الخلية وعند إضافة أكسيد السترونتيوم والتيتانيوم $SrTiO_3$ النانوي وبنسبة $X=0.5$ وكما مبين في شكل 2. تم حساب قيم ابعاد وحدة الخلية حيث كانت $a=3.8224^\circ$ ، $b=3.8665^\circ$ ، $c=11.8565^\circ$ ، وعند إضافة أكسيد السترونتيوم والتيتانيوم $SrTiO_3$ النانوي وبنسبة $X=1$ فان قيم ابعاد وحدة الخلية $a=3.9784^\circ$ ، $b=3.9877^\circ$ ، $c=13.7633^\circ$ وكما مبين في الشكل 3 وعند إضافة أكسيد السترونتيوم والتيتانيوم $SrTiO_3$ النانوي وبنسبة $X=1.5$ فان قيم ابعاد وحدة الخلية $a=3.9113^\circ$ ، $b=3.9212^\circ$ ، $c=12.5312^\circ$ وكما مبين في الشكل 4، أظهرت الخصائص التركيبية بتحسن واضح وانتظاما في تركيبها البلوري وكانت أفضل ومن ملاحظة القيم وهي ذات تركيب من النوع المعيني القائم Orthorhombic للعينات الثلاث مع أفضلية واضحة للعينة الأولى



شكل 2 : حيود الأشعة السينية للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $x=0.5$

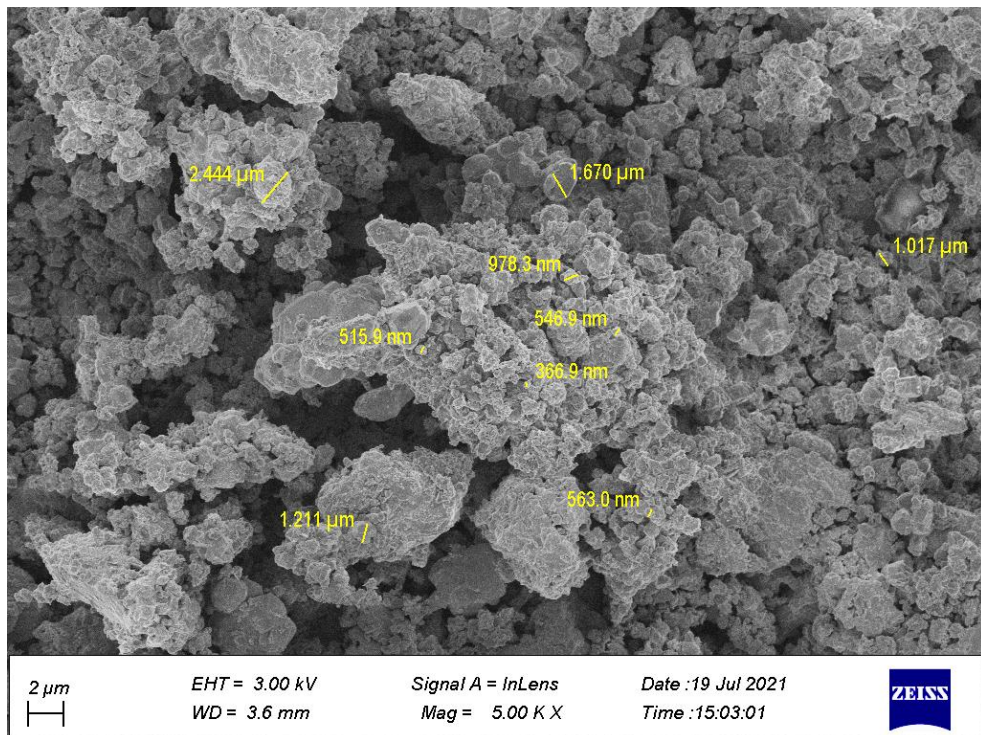


شكل 3 : حيود الأشعة السينية للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $x=1$

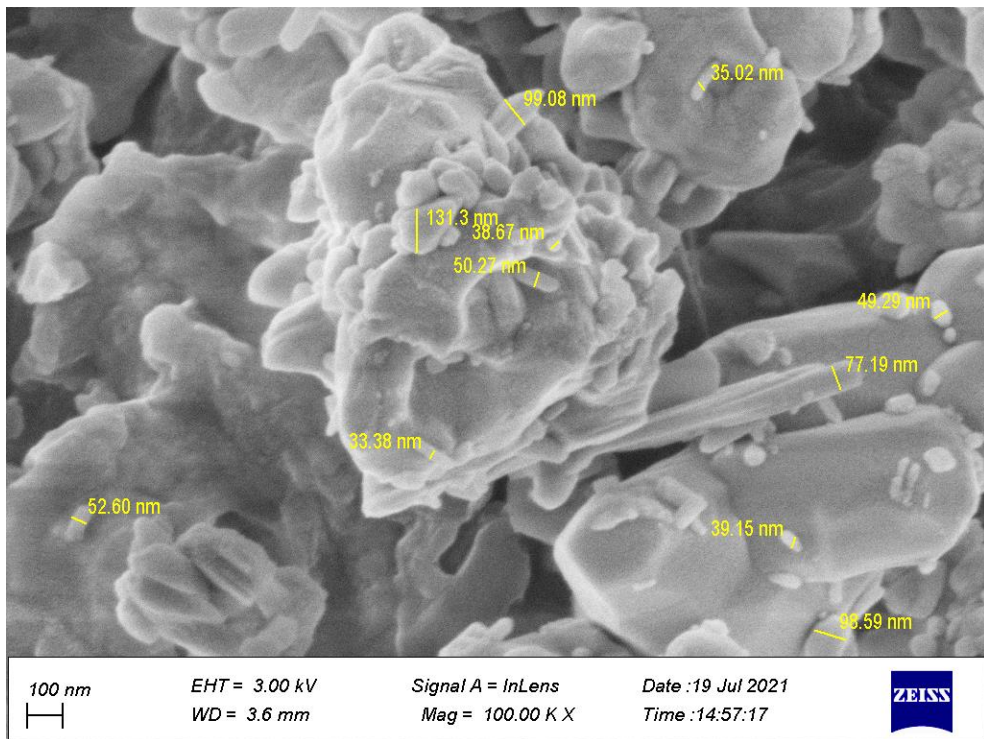


شكل 4: حيود الأشعة السينية للمركب $\text{YBa}_{2-x}(\text{SrTiO}_3)_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ لقيم $X=1.5$

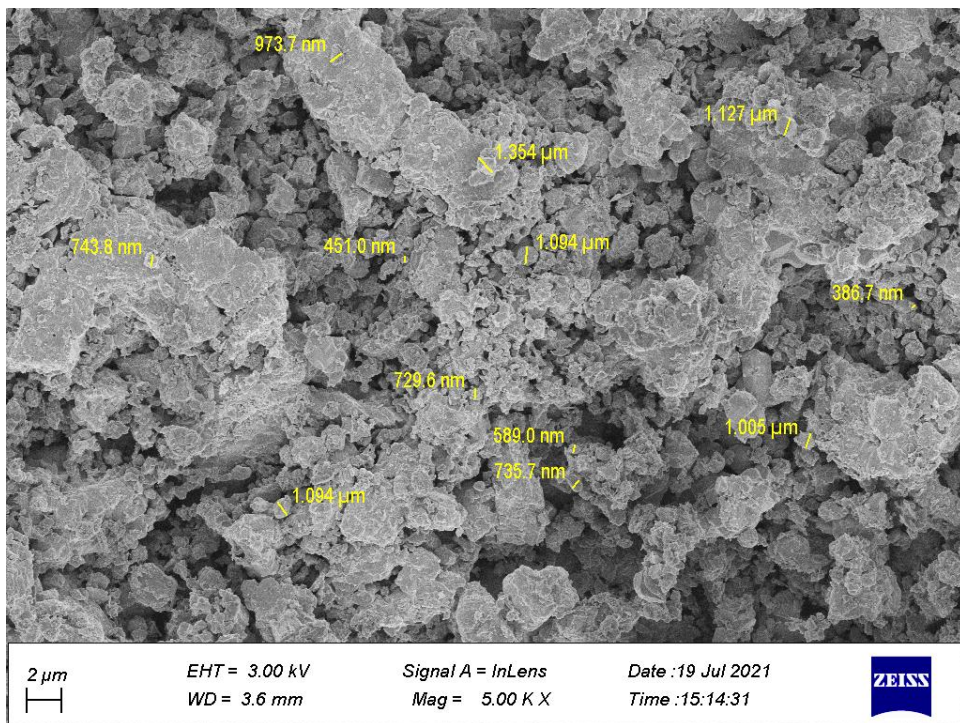
وعند فحص العينات بجهاز FESEM وبمعدل تكبير 500kx و 10000kx لوحظ هناك هياكل ذات كثافة عالية فاتحة اللون وأخرى داكنة بدرجة قليلة تعود إلى العناصر الثقيلة ابعادها تتراوح من 33.38 nm إلى 131 nm بقوة تكبير 10000kx وعند قوة تكبير 500kx تتراوح ابعادها من 366.9 nm إلى 2.44 mm وأفضل النتائج عند التعويض $X=0.5$



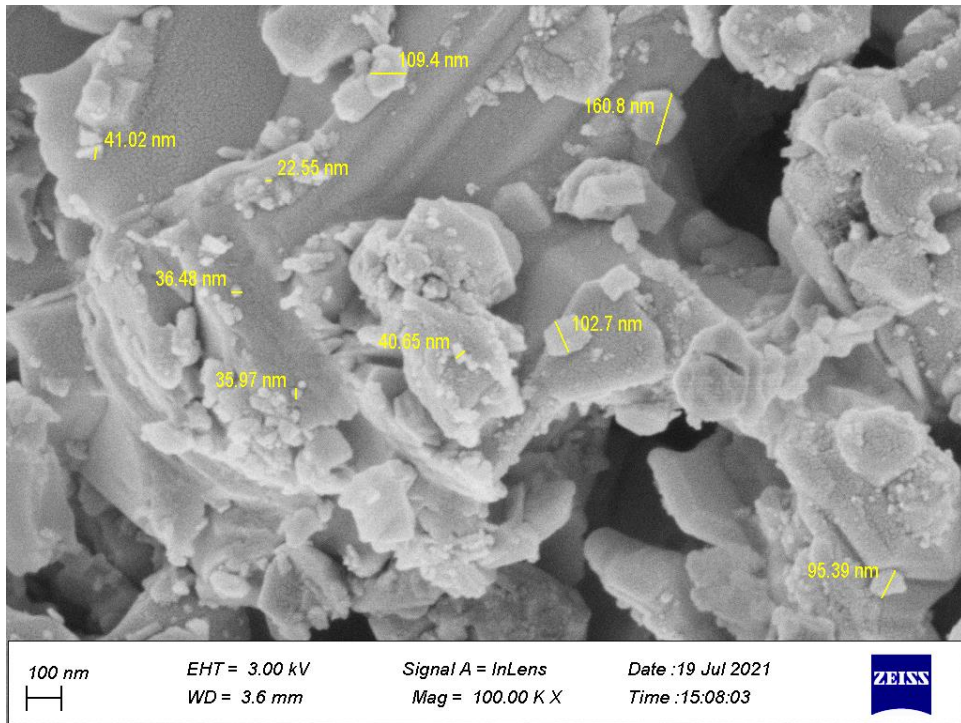
شكل 5: صور فوتوغرافية للمركب $\text{YBa}_{2-x}(\text{SrTiO}_3)_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ لقيم $X=0.5$ بقوة تكبير 500kx



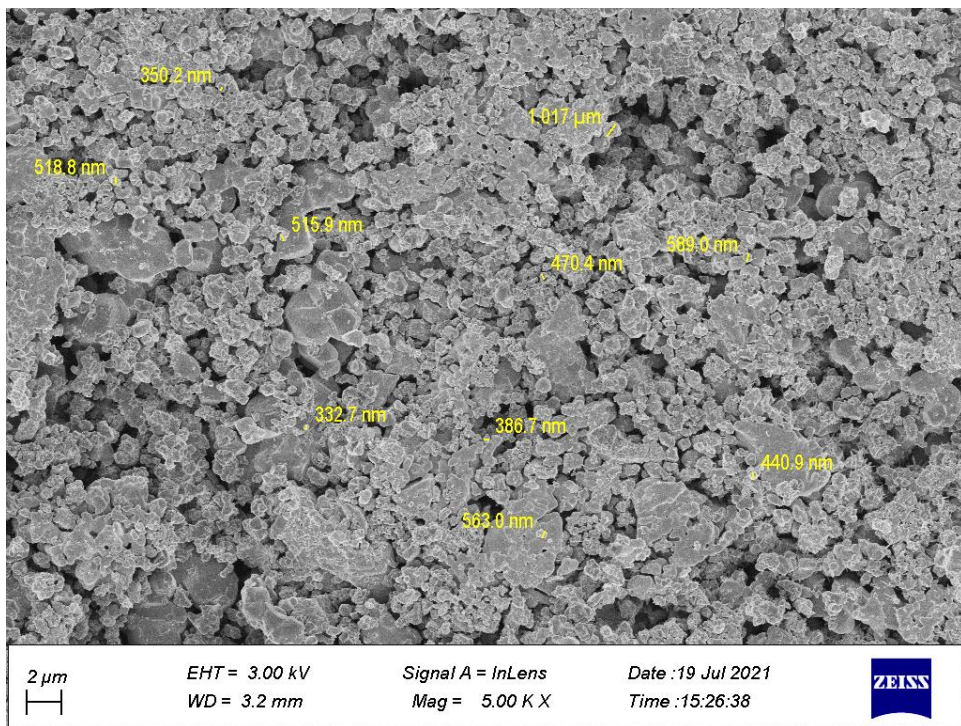
شكل 6 : صور فوتوغرافية للمركب $YBa_{2-x} (SrTiO_3)_x Cu_3 O_7$ لقيم $X=0.5$ بقوة تكبير 10000kx



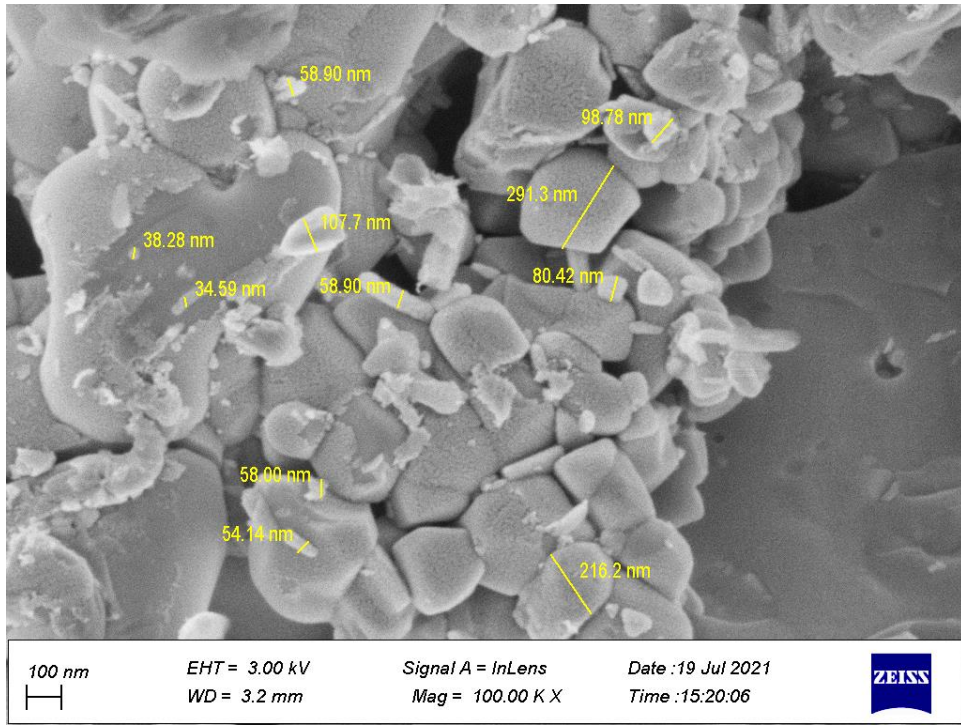
شكل 7 : صور فوتوغرافية للمركب $YBa_{2-x} (SrTiO_3)_x Cu_3 O_7$ لقيم $X=1$ بقوة تكبير 500kx



الشكل 8: صور فوتوغرافية للمركب $\text{YBa}_{2-x}(\text{SrTiO}_3)_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ لقيم $x=1$ بقوة تكبير $10000\times$

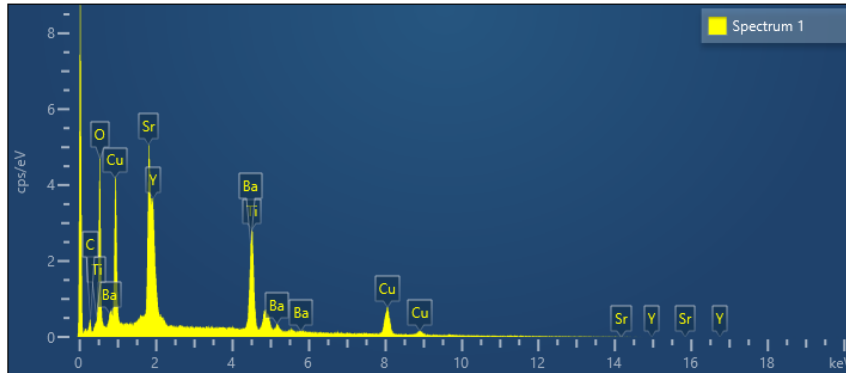


شكل 9 : صور فوتوغرافية للمركب $\text{YBa}_{2-x}(\text{SrTiO}_3)_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ لقيم $x=1.5$ بقوة تكبير $500\times$



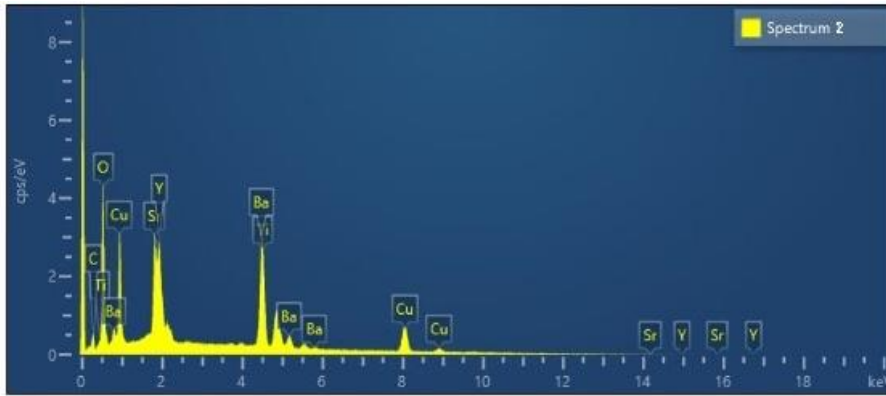
شكل 10: صور فوتوغرافية للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $X=1.5$ بقوة تكبير 10000kx

تم استخدام تقنية EDX لتحليل العناصر المستخدمة في العينات ان هذه التقنية تستخدم لقياس تراكيز المواد المكونة للعينات ويظهر فيها مكونات العينات بشكل واضح ومدى التطابق بينها وبين المواد المكونة لها



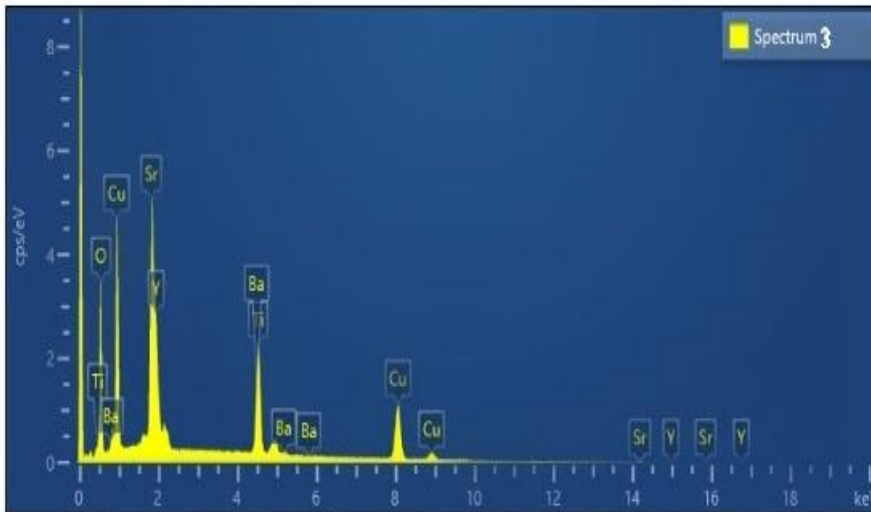
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
O	K series	27.83	0.40	57.35
Ti	K series	9.10	0.19	6.26
Cu	L series	20.32	0.31	10.54
Sr	L series	15.07	0.27	5.67
Ba	L series	12.79	0.36	3.07
C	K series	4.88	0.40	13.39
Y	L series	10.01	0.33	3.71
Total		100.00		100.00

شكل 11 : يمثل العلاقة بين الطاقة والشدة وجدول نسب العناصر للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $X=0.5$



Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
O	K series	24.55	0.38	54.73
Ti	K series	6.20	0.20	4.62
Cu	L series	17.79	0.32	9.99
Ba	L series	26.69	0.41	6.93
C	K series	5.35	0.40	15.88
Sr	L series	9.58	0.25	3.90
Y	L series	9.85	0.35	3.95
Total		100.00		100.00

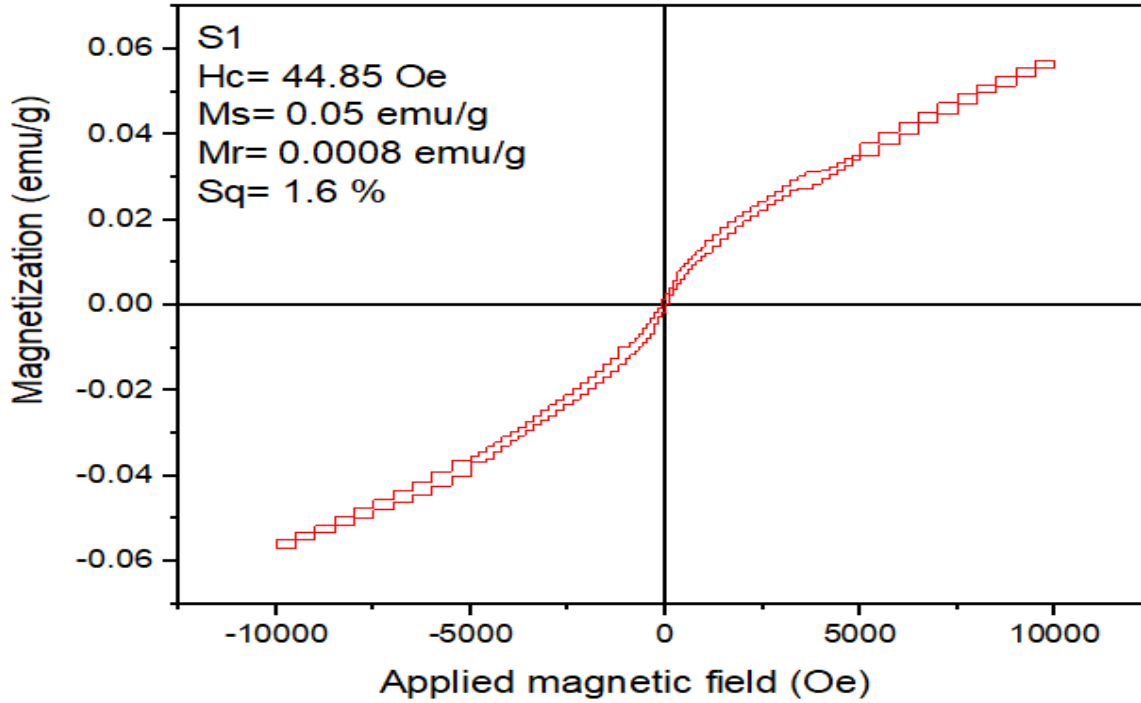
شكل 12: يمثل العلاقة بين الطاقة والشدة وجدول نسب العناصر للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $X=1$



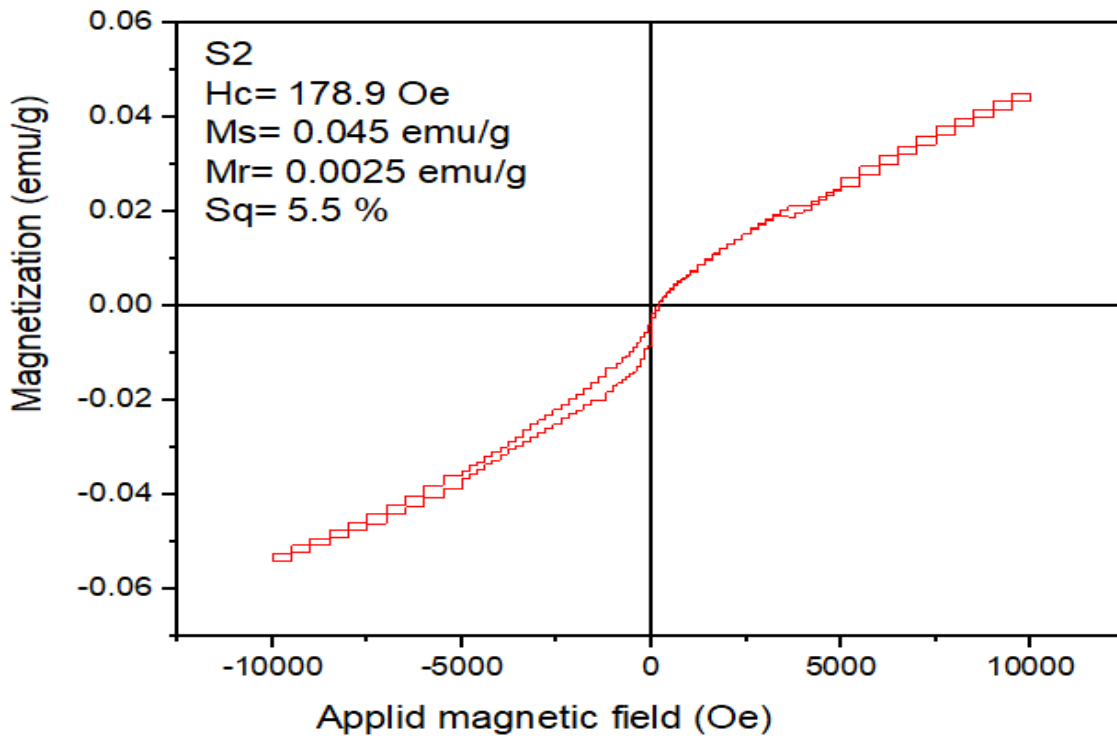
Element	Line Type	Weight %	Weight % Sigma	Atomic %
O	K series	27.81	0.45	62.62
Ti	K series	11.61	0.21	8.73
Cu	L series	27.97	0.38	15.86
Sr	L series	20.19	0.33	8.30
Y	L series	8.60	0.41	3.49
Ba	L series	3.82	0.41	1.00
Total		100.00		100.00

شكل 13 : يمثل العلاقة بين الطاقة والشدة وجدول نسب العناصر للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $X=1.5$

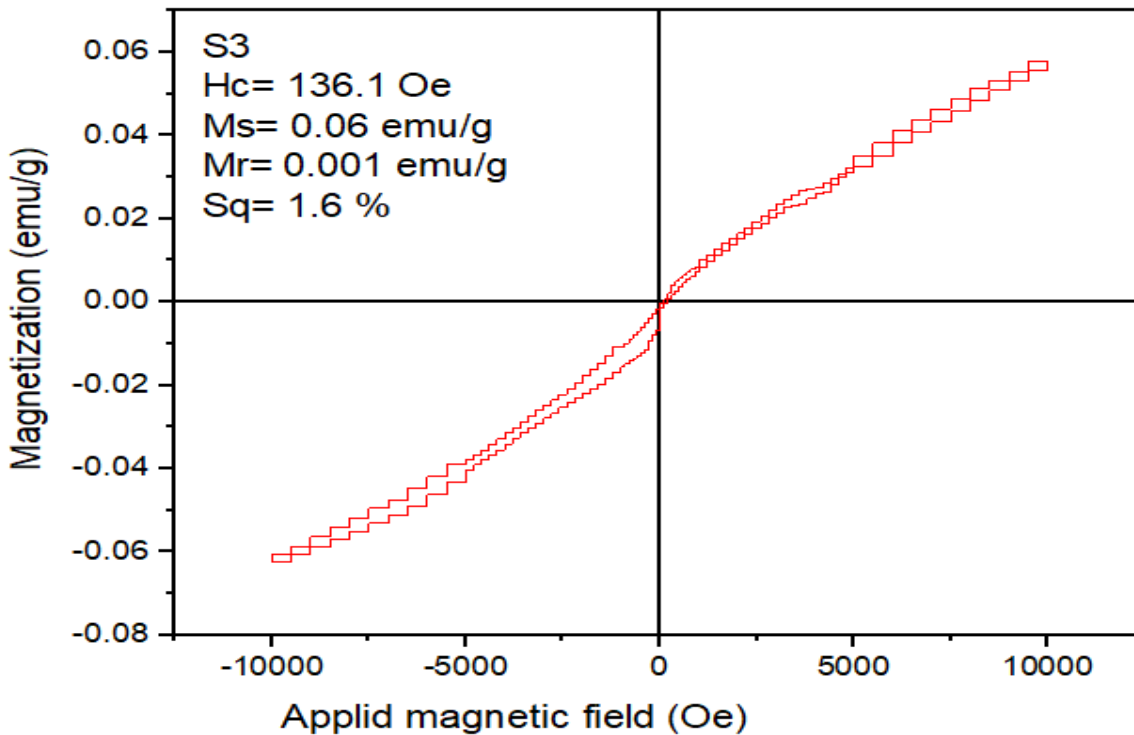
تم فحص العينات الثلاثة والمرفقة في الاشكال بجهاز VSM والذي يختص بقياس الخواص المغناطيسية للمواد المستخدمة في الابحاث العلمية لتحديد وتطوير جودتها للقابلية المغناطيسية ومن منحى الهسترة والعلاقة Sq والتي تمثل نسبة المغناطيسية المتبقية Remanance Magnetization Mr مقسومة على مغناطيسية التشبع Saturation Magnetization Ms في النسبة المؤية وتعتبر مقياس حلقات الهسترة التي تربط بعلاقة عكسية مع درجة الحرارة الحرجة Tc وأفضل نتيجة هي في العينة X=0.5 حيث قيمة Sq=1.6% والعينة X=1 اصبحت قيمة Sq=5.5% والعينة X=1.5 حيث قيمة Sq=1.6 هذا يتطابق تماما مع الابحاث ان مواد التوصيل الفائق هي مواد دايا مغناطيسية [13]



شكل 14: يمثل العلاقة بين المجال المطبق والمغنطة وشكل حلقات الهسترة للمركب $\text{YBa}_{2-x}(\text{SrTiO}_3)_x\text{Cu}_3\text{O}_7$ لقيم $X=0.5$



شكل 15 : يمثل العلاقة بين المجال المطبق والمغنطة وشكل حلقات الهستيرة للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $x=1$



شكل 16 : يمثل العلاقة بين المجال المطبق والمغنطة وشكل حلقات الهستيرة للمركب $YBa_{2-x}(SrTiO_3)_xCu_3O_7$ لقيم $x=1.5$

4. الأستنتاجات:

عند تحضير العينات بنسب تعويض $X=0.5, X=1, X=1.5$ زادت قيم درجة الحرارة الحرجة T_c بنسب متفاوتة أعلى قيمة عند التعويض $X=0.5$ وهذا يدل ان إضافة المادة النانوية يؤدي إلى تحسن T_c مع ملاحظة ان هذه الزيادة ترتبط بعوامل أخرى.

من دراسة الخواص التركيبية باستخدام جهاز الأشعة السينية ان إضافة المادة النانوية إلى المركب ومن خلال ملاحظة ابعاد وحدة الخلية a, b, c ، للعينات الثلاثة بقيت محافظة على النوع المعيبي القائم مع أفضلية واضحة للعيينة الأولى

الفحص بجهاز FESEM أظهر انخفاض في الابعاد البلورية إلى 33.38nm وهذا يشير إلى تحسن الخواص التركيبية

الفحص بجهاز VSM للعينات الثلاثة ومن منحى الهسترة ان العلاقة بين مغناطسية التشبع Saturation Magnetization (Ms) والمغناطيسية المتبقية Remanance Magnetization (Mr) والقوة المرغمة Coercivity Hc ان حلقات الهسترة المتكونة في عينات التوصيل الفائق تكون ضيقة جدا وان هناك علاقة عكسية تماما بين ضيق الحلقات وتحسن درجة الحرارة الحرجة T_c وأفضل نتيجة هي في العينة $X=0.5$

1. C. Kittel, " **Introduction to solid state**", 6th Ed., John Wiley and Sons, New York (1986).
2. M. K. Wu, J. R. Ashburn, C. J. Torng, P. H. Hor, R. L. Meng, L. Gao, Z. J. Huang, Y. Q. Wang, and C. W. Chu, Phys. Rev. Lett. 58, 908 (1987).
3. J. J. Capponi, C. Chaillout, A. W. Hewat, P. Lejay, M. Marezio, N. Nguyen, B. Raveau, J. L. Soubeyrou, J. L. Tholence and R. Tournier, " **Structure of the 100 K superconductor Ba₂YCu₃O₇ between (5÷ 300) K by neutron powder diffraction**" Europhys. Lett. Vol.3, p1301, 1987.
4. Nasri A. Hamid, Mohd Y, Abd Rahman and Noor F. Shamsudin, "**Mechanical and Superconducting proprieties of Nano size MgO added dip-coated Bi₂ Sr₂ Ca Cu₂O₈ Superconducting Tape**", Natural Science, 3(6), 484 (2011).
5. Asbullah M, Hamid N, Yahya S. and Azhan H, "**Optimization of Flux pinning Ceners in Bi-2212 MgO Added Superconductor**", 4th International Conference on Solid State Science and Technology, (2012).
6. Ghazala Y. Hermiz, Bushra A. Aljuranim Md. and Ali H. Al-Beayaty, "**Effect of Mn Substitution on the Superconducting Properties of Bi_{1.7}Pb_{0.3}Sr₂Ca_{2-x}MnxCu₃O_{10+δ}**" International Journal of Engineering and Advanced Technology, 3(4), 2249 (2014).
7. Abdul Jabbar, Irfan Q, Khalid M. Khan, Zulqurnain A, Nadeem K, Mumtaz M, "**Synthesis and superconducting properties of (Au)_x/ CuTi-1223 Composites**", Journal of Alloys and Compound, 618, 110 (2015).
8. Abd shukor R. and Jannah A, "**Advances in Superconductivity and CO₃O₄ NanoParticles as flex pinning center in (Bi-Pb) 2223/Ag superconductor Tapes**", Alp conference proceeding, AIP Publishing LLC, USA, 1877(1), 020003 (2017).
9. Alyaa H, Abdu Kareem A. and Kareem J, "**Influence of Simultaneous doping of Ag on the wircal Temperature and Laitice conslout of Ti_{1.6} Hg_{0.4-x} Ag_xBa₂Ca₂Cu₃O₁₀ Superconductors**", Alp Conference Proceedings, AIP PUBLISHING LLC, USA, 2123, 020079 (2019).
10. Fouad K. and Hussein A. "**The Effect of Addition of (Al₂O₃) Nano Particles on Structural and Electrical Properties of Bi₂Ba₂Ca₂Cu₃O₁₀ +δ Superconductors at High Temperature**" Kirkuk University Journal /Scientific Studies (KUJSS) Volume 15, Issue 4, December 2020
11. Abbas M. and Razzaq A. "**The effect of Nd Nano particles on (Bi, Pb)2223 Superconductivity**", Journal of chemical and pharmaceutical science, 10, 10111(2017).
12. Howe, B. A. (2014). **Crystal Structure and Superconductivity of YBa₂Cu₃O_{7-x}** [Master's thesis, Minnesota State University, Mankato].
13. Chang Yen, **conventional superconductivity** NTU-222D5220,(2007).