دراسة الخصائص الحرارية والمغناطيسية للمركب SmBa2Cu3O7-δ فائق التوصيل للكهرباء عند درجات الحرارة العالية[+]

STUDY THE THERMAL AND MAGNETIC CHARACTERISTICS OF COMPLEX SUPER CONDUCTOR ELECTRIC SMBA2CU3O7-d IN HIGH TEMPERATURE

الاستاذ عبدالكريم دهش علي [*] **الاستاذ علاء حافظ الحياني** [**]

المستخلص:

تمت دراسة تأثير الخصائص الحرارية والمغناطيسية لدرجة الحرارة الحرجة والتركيب البلوري ونسبة الأوكسجين للمركب $SmBa_2Cu_3O_{7-d}$ فائق التوصيل للكهرباء والمحضر بطريقة تفاعل الحالة الصلبة وباستخدام طريقتي التلبيد والتلدين عند درجات حرارية مختلفة .بينت نتائج هذه الدراسة أن درجة حرارة التلدين المساوية لـ (950° C) للعينات المحضرة باستخدام ضغط كبس مساوي إلى(١٠ طن/سم٢) تمثل افضل الظروف للحصول على عينات المركب فائق التوصيل للكهرباء ذي التركيب البلوري نوع المعيني القائم والحاوي على نسبة عالية من الأوكسجين.

Abstract:

The effect of the heat and magnetic properties at the critical temperature,crystal structure and the oxygen content on $SmBa_2Cu_3O_{7-d}$superconductor has been studied. This compound has been prepared using the solid state reaction method. The results of this investigating show that the annealing temperature of 950° C for the samples prepared with compacting pressure of (10 ton/cm2) is the best condition for obtaining the high temperature $SmBa_2Cu_3O_{7-d}$ superconducting compound with optimum T_c and d values and orthorhombic crystal structure.

المقدمة:

يمتلك المركب LaBaCuO خاصية التوصيل الكهربائي الفائق عند درجة حرارة 35K [1]. ولقد تمكن Chu et.al [2] من رفع درجة الحرارة الحرجة للمركب نفسه الى 40K و 52K باستخدامه للضغط في تحضير عينات المركب المذكور .كما استطاع Wu et.al [3] من الحصول على التوصيلية الفائقة للمركب YbaCuO عند درجة

[+]تاريخ استلام البحث ٢٠٠٥/٢/٢٤ ، تاريخ قبول النشر ٢٠٠٥/٩/١٢

[*]مدرس / المعهد التقني الدور

[**]مدرس مساعد / المعهد التقني الدور

حرارة 93 K. وكانا Maeda et. al [4] و. Sheng et al [5] من أوائل الباحثين في إيجاد التوصيلية الفائقة في المركبات Bi-Sr-Ca-Cu-O و Ti-Ba-Ca-Cu-O عند درجات حرارية اعلى من 100 K.

تطرق العديد من الباحثين الى التطور التاريخي لخاصية التوصيلية الكهربائية الفائقة عند درجات الحرارة العالية ونظريتها [6]. كما اهتم عدد اخر من الباحثين بدراسة التركيب البلوري ومدى تاثيره على درجة الحرارة الحرجة Tc للمركبات $REBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ (اذ تمثل RE العناصر الأرضية النادرة Rare Earth) وتم تحديده بالتركيب المعيني القائم (Orthorhombic) [7, 8] . أوضحت هذه الدراسات ان درجة الحرارة الحرجة في هذه المركبات تكون حساسة جدا تبعا لظروف تحضير العينة ونقاوتها . بين Wada et.al [4] انه من الصعب جدا الحصول على قيم Tc نفسها عند اعادة تحضير العينة نفسها. بنيت دراسات اخرى [9] ان التركيب البلوري للمركب $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ فائق التوصيل للكهرباء هو من نوع المعيني القائم ايضاً.وان هذا المركب يبقى محافظا على تركيبه في حالة التعويض الجزئي لعنصر اللنثانوم Laفي الايتريوم Y واوضح ان توفر عاملي التركيب البلوري المعيني القائم والاحتواء على نسبة عالية من الاوكسجين ضروريان جدا لحدوث ظاهرة التوصيلية الكهربائية الفائقة في هذه المركبات. وكان لهذين العاملين ترابط وثيق في بعض المركبات مثل $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$. بينما يكونان مستقلين عن بعضهما في المركبات الأخرى مثل $LaBa_2Cu_3O_{7-\delta}$.

لقد بين Schilling et al. [10] ان المركب Hg-Ba-Ca-Cu-O يمتلك خاصية التوصيلية الكهربائية الفائقة عند درجة الحرارة 130 K. تمكن Chu et. al [11] من رفع درجة حرارة التحول المذكور (تحول المادة من التوصيلية الأعتيادية الى التوصيلية الفائقة في تلك الدرجة الحرارية) الى 153 K للمركب نفسه وذلك باستخدام الضغط ووجد Reiffers et.al [12] ان درجة الحرارة الحرجة للمركبين $YBa_2Cu_3O_{7-d}$ و $SmBa_2Cu_3O_{7-d}$ المحضرين بطريقتي الكلسنة (Calcination) والتلدين (Annealing) مساوية بـ 85 K . وان تركيبهما البلوري كان من نوع المعيني القائم . كما اشار Page et al. [13] الى ان التركيب البلوري للمركب فائق التوصيل الكهربائي YBa2Cu3O7-d عند درجات الحرارة العالية هو من نوع المعيني القائم ايضا .

وقد بينت دراسة تاثير الضغط المستخدم عند كبس العينة على خواص المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ان قيم درجة الحرارة الحرجة قد ازدادت بازدياد الضغط المستخدم اذ أن ضغط كبس (10طن/سم٢) تركيب العينة كان من النوع المعيني القائم التام [14].كذلك تمت دراسة تأثير التعويض الجزئي لعناصر Zn,Sr,Eu في كل من العناصر Cu,Ba,Sm على التوالي على خواص المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ذي التوصيلية الكهربائية الفائقة في درجات الحرارة العالية . أظهرت النتائج ان التعويض الجزئي لعنصر اليوروبيوم Euفي عنصر السماريوم Sm للمركب $Sm_{1-X}Eu_XBa_2Cu_3O_{7-\delta}$وعند نسب x مساوية لـ 0 او 0.05 او 0.1 او 0.2 او 0.3 لاتؤثر بصورة كبيرة على التركيب البلوري للمركب الناتج بل يبقى المركب محافظا على هيئة تركيبه المعيني القائم بينما ازدادت قيم درجة الحرارة الحرجة من 88 K الى 107 K عندما ازدادت قيمة x من 0 الى 0.2 وعندما اصبحت قيمة x مساوية بـ 0.3 تحول التركيب البلوري للمركب من التركيب المعيني القائم الى التركيب الرباعي وفقد المركب خاصية التوصيل الكهربائي الفائق وتحول الى شبه موصل[15].

تمت دراسة توزيع المجال المغناطيسي المقتنص (trapped field) وقوى الرفع (levitation forces) لعدد من العينات ذات التوصيلية الكهربائية الفائقة Sm-Ba-Cu-O و Gd-Ba-Cu-O و Y-Ba-Cu-O والمحضرة

بطريقة الصهر في الهواء في جو قليل الاوكسجين. وجد ان القيمة القصوى للمجال المقتنص تتغير من (1.0 الى 1.5 Tesla) وان جميع العينات اظهرت قيمة قصوى لقوة الرفع مساوية الى 20kgf [16] . كما تمت دراسة تأثير الفضة Ag على عمليات تحضيرالعينات ومتانة (strength) النظام (RE BaCuO-Ag) ووجد ان قيمة المجال المغناطيسي المقتنص [17]عالية .

تهدف هذه الدراسة الى تحضير عينات المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ بطريقة تفاعل الحالة الصلبة من خلال معاملة العينات حراريا بطريقتي التلبيد والتلدين ودراسة مدى تأثير درجة حرارة التلدين على قيم درجة الحرارة الحرجة والتركيب البلوري ونسبة الاوكجسين في المركب المذكور.

<u>المواد و طريقة العمل:</u>

تم تحضير عينات المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$بأخذ أوزان معينة وحسب نسب الاوزان الذرية من اوكسيد السماريوم (Sm_2O_3) وكاربونات الباريوم ($BaCO_3$) واوكسيد النحاس (CuO) المجهزة من شركة germanFluka- ذات نقاوة 99.9% تم مزج هذه المساحيق وطحنها جيدا في هاون من مادة العقيق أي مطحنة من العقيق(Agate morter)لمدة ٥٠ دقيقة للحصول على خليط متجانس.

يتم إضافة قطرات من كحول الايزوبربانول ($C_2H_3O_5$) اثناء عملية الطحن لتفادي فقدان أجزاء من المسحوق أثناء عملية الطحن.يوضع هذا الخليط في بودقة داخل الفرن ذي منظم الحراري ترفع درجة حرارة الفرن الى 950ºC وبمعدل تسخين 120ºC/hr ويبقى النموذج لمدة 12ساعة عند هذه الدرجة الحرارية ثم يترك ليبرد الى درجة حرارة الغرفة وبمعدل 30ºC/hr (حيث يكون الفرن من نوع الفرن الحراري ذي درجة حرارة 1200º C ومصمم بحيث يتم تسليط الاوكسجين من خلال أنبوبة التسخين، وتصنع الافران من عدة شركات أجنبية وقسم منها مصنع في العراق كما وتكون البودقة من نوع البودقة الخزفية ceramic boat تصل حرارتها الى 1200º C).

تتلخص طريقة التلبيد (Sintering) بوضع عدد من الاقراص(الأقراص المتكونة من $BaCO_3$ وSm_2O_3 و CuO وحسب نسب الأوزان الذرية) في الفرن الكهربائي وترفع درجة حرارته الى 950 ºC وبمعدل 60º C/hr تبقى العينة عند هذه الدرجة لمدة ٢٤ ساعة بعدها يتم خفض درجة الحرارة تدريجيا الى درجة حرارة الغرفة بمعدل 30º C/hr تتم عمليات التسخين والتبريد في جو مشبع بالاوكسجين عن طريق تسليط الاوكسجين من قنينة الاوكسجين الى داخل الفرن وبطريقة محكمة اثناء عملية التسخين. يوضح الشكل (la) عملية التلبيد المذكورة . يمكن اجمال التفاعلات الكيمياوية النهائية التي تحدث اثناء عملية التلبيد بالمعادلة الاتية:-

$$\frac{1}{2}\ Sm_2O_3 + 2BaCO + 3CuO \longrightarrow SmBa_2Cu_3O_{7-\delta} + 2CO_2$$

اذ تتم عملية كبس النماذج بعد أجراء عملية التسخين الأولية وطردCO_2 من المركبات للحصول على المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ في مكبس هيدروليكي، وبضغوط مختلفة حسب مايتطلب البحث.وتمت عملية الكبس في جامعة الموصل-قسم الكيمياء.

تتم عملية التلدين (Annealing) على العدد المتبقي من الاقراص المحضرة اذ توضع في الفرن الكهربائي وترفع درجة حرارتها الى 600 ºC وبمعدل 120º C/hr وتبقى عند هذه الدرجة الحرارية لمدة ١٢ ساعة بعدها ترفع درجة حرارة الفرن من600º C الى 950º C وبمعدل 60º C/hr وتبقى عند هذه الدرجة الحرارية ايضا لمدة ٢٤ساعة ايضاً وذلك لأن درجات حرارة التلدين تتراوح بين 910º C الى 970º C وتكون أفضل درجة حرارة تلدين هي الى 950º C للحصول على أفضل درجة حرارة حرجة عندها.وبعد ذلك تخفض درجة حرارة الفرن من950º C الى600º C وبمعدل 30º C/hr وتبقى عند هذه الدرجة الحرارية لمدة ١٢ ساعة ايضاً .ثم تخفض درجة الحرارة من 600º C الى درجة حرارة الغرفة وبمعدل30º C/hr ، والشكل (lb) يوضح طريقة التلدين وتتم هذه العملية في جو مشبع بالأوكسجين.

أما طريقة قياس المقاومة الكهربائية فتتلخص في قطع الأقراص على شكل متوازي المستطيلات بأبعاد (1x3x12)mm بعدها يتم صقل وتنعيم السطح بجهاز للتنعيم (grinding). استخدمت تقنية النقاط الأربعة (Four Point Technique) للحصول على قيمة المقاومة الكهربائية R،(Electrical Resistance) وذلك بعمل أربع نقاط للتوصيلات الكهربائية على العينة باستخدام معجون الفضة (Silver paste)-وهو معجون الفضة الذي يستخدم لتثبيت أطراف الأسلاك للقياس ويجهز من عدة مناشيء أجنبية .ثم نحصل على درجة الحرارة الواطئة باستخدام جهاز التبريد المغلق (Cycle Refrigerator Closed) وهو جهاز يستخدم لقياس درجات الحرارة المنخفضة ويتكون من منظومة تبريد ومضخات للتفريغ قبل أجراء عملية القياس ويمتاز هذا الجهاز بسرعة الحصول على عزل تام اثناء عملية القياس. يمكن أيجاد المقاومة النوعية (المقاومية) الكهربائية ρ, (Electrical Resistivity) من العلاقة: $\boldsymbol{\rho = VA/IL}$ اذ ان L,A,I,V تمثل فرق الجهد و التيار الكهربائي ومساحة المقطع العرضي وطول العينة الواقع بين نقطتي قياس فرق الجهد على التوالي.

تم ايجاد أبعاد وحدة الخلية لمعرفة التركيب البلوري بأستخدام (X-ray diffraction spectrum) للعينات المدروسة بوضع جزء من العينة المتجانسة في جهاز الاشعة السينية ذي المصدر المشعCuKα (الجهاز المستخدم في قسم البايولوجي –كلية العلوم-جامعة بغداد)، ذات الطول الموجي 1.5405 A وباستخدام قانون{ ( ) $2dsin\theta=n\lambda$} Braggs Law يمكن ايجاد معاملات (مؤشرات) ميلر (Miller Indices) (h,k,I) ومن ثم أيجاد قيم أبعاد وحدة الخلية a,b,c ومنها يمكن معرفة نوع التركيب البلوري للمركب قيد الدرس وذلك باستخدام المعادلة آلاتية: -

$$\frac{1}{d^{2}_{hkl}} = \frac{h^{2}}{a^{2}} + \frac{k^{2}}{b^{2}} + \frac{l^{2}}{c^{2}}$$

ان تحقيق العلاقة $a=b \ \# \ c$ يمثل احد الشروط المهمة في الحصول على التركيب البلوري من النوع المعيني القائم.

ان تفاعل المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ مع حامض الهيدروكلوريك يحرر كلوريد النحاس ($3CuCl_2$) والاوكسجين (δO) اللذان يتفاعلان مع ايوديد البوتاسيوم ليتحرر المجموع الكلي للاوكسجين والمساوي للمقدار ($\delta+$ 6.5) اذ يتم

حساب δ من الأوزان الذريةخلال عملية التسحيح، ويتحرر الايودين (I_2) ثم استخرجت نسبة الأوكسجين في المـــادة من العلاقة آلاتية[17]:

$$d = \frac{(\frac{MA}{MB})}{(\frac{2\,ma}{cV})} - \frac{(\frac{3\,ma}{cV})}{(\frac{M_o}{MB})}$$

اذ ان MA تمثل الوزن الجزيئي للمركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ وتمثل MB ثايوســلفات الــصوديوم وتمثــل M_O الاوكجسين على التوالي . اما ma,v,c فتمثل كتلة المركب وحجم ثايوسلفات الصوديوم تركيــزه علــى التــوالي. ان تفاصيل الخطوات العملية مشروحة باسهاب في المصدر[18] .

النتائج والمناقشة:

حددت قيم درجات الحرارة الحرجة بقياس المقاومة الكهربائية مع درجة الحرارة وعرفنا درجة الحرارة الحرجة على انها الدرجة الحرارية للمركب عندما تهبط المقاومة الكهربائية له الى منتصف المسافة بين بداية الهبوط ونهايته T cm والسبب في ذلك يعود الى ان الهبوط في قيمة المقاومة الكهربائية ليس سريعا في منطقــة التحــول الــى حالــة التوصيل الفــائق فــي المركبــات متعــددة البلــورات (Polycrystsalline) بخــلاف المركبــات احاديــة البلــورة (Monocrystalline) التي يكون فيها الهبوط المذكور حادا جدا.كذلك استقصي تأثير درجة حرارة التلدين علــى قيمــة درجة الحرارة الحرجة للمركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ وذلك بدراسة العلاقة بين المقاومية الكهربائيــة ودرجــة الحــرارة لعينات المركب المختلفة والملدنة عند درجات الحــرارة 960ºC, 950ºC,940ºC,930ºC,920ºC,910ºC,900ºC 970ºC.يوضح *الشكلان (2) و(3)* نتائج دراسة تأثير التلدين على قيم درجات الحرارة الحرجة.أظهرت هــذه العينــات جميعها ظاهرة التوصيل الكهربائي الفائق عند درجات حرارية مختلفة وبينت ان درجــة الحــرارة الحرجــة للعينــات المذكورة قد ازدادت من 72K (48K) الى 88K(62K) عندما ارتفعت درجة حرارة التلدين مــن 900ºC و 970ºC انخفضت قيم درجة الحرارة الحرجة الى 80K (57K) و 60K(42K) على التوالي وعليه اعتمدت درجــة الحــرارة المساوية الى 950ºC على انها افضل درجة حرارة تلدين للمركب المذكور.وتمثلTco بداية نقطة التحول أي يتحــول المركب من التوصيل الاعتيادي إلى التوصيل الفائق.

جدول (١) قيم درجات الحرارة الحرجة مع درجة حرارة التلدين.

درجة حرارة التلدين (ºC)	درجة الحرارة الحرجة (k) Tco+2	درجــة الحــرارة الحرجــة Tcm+2(k)
900	48	72
910	50	75
920	56	78
930	58	81
940	60	84
950	63	88
960	60	80
970	42	60

يوضح الجدول(١) قيم درجات الحرارة الحرجة ودرجة حرارة التلدين للمركب SmBa2Cu3O7-δ.

جاءت نتائج هذه الدراسة مطابقة لنتائج الدراسات السابقة اذ بين FATHI [19] آن درجة الحرارة الحرجة للمركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ أزدادت من ٨٠K الى ٨٧ K عندما أرتفعت درجة حرارة التلدين من 900ºC الى 950 C وان مدى (عرض) منطقة التحول كان مساويا الى 50K تقريبا للعينات المحضرة بطريقتي التلبيد والتلدين على التوالي.

ان لمدى التحول علاقة قوية بطبيعة تركيب المادة ويمكن اعتبار قيمة مدى التحويل دليلا على بعد التركيب البلوري المثالي (أحادي البلورة) او قربه ودليلا على نقاوة المادة . إن مدى التحول (أو سرعة الهبوط في قيمة ألمقاومة الكهربائية لهذه العينات) كان أفضل بكثير من المركبات متعددة البلورات ذات التوصيل الكهربائي الفائق [20] $La_{1-x}H_{ox}Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ و $(Ba_{0.7}Sr_{0.3})_{2/3}Y_{1/3}CuO_{3-\delta}$[21] والتي امتلكت مدى تحول مساو تقريبا بـــ 100K و40K على التوالي.

يوضح الشكل(4) علاقة درجات الحرارة الحرجة مع درجة حرارة التلدين اذ تزداد درجة الحرارة الحرجة بأزدياد درجة حرارة التلدين مع ثبوت ضغط كبس العينة عند القيمة 10طن/سم٢ بصورة خطية تقريبا الى درجة حرارة 950ºC ثم تنخفض قيمتها انخفاضا حادا بزيادة درجة حرارة التلدين. ان لهذا الهبوط المفاجيء علاقة مع ما يحدث من تحول في تركيب البلوري للمادة اذ نجد ان التركيب البلوري من نوع المعيني القائم التام عند درجة حرارة 950ºC ثم يبدأ بالتحول الى التركيب المكعبي ويفقد المركب خاصية التوصيلية الكهربائية الفائقة تدريجيا ويتحول الى شبه الموصل. ان امتداد منحني الانخفاض في قيم درجة الحرارة الحرجة T_{co}, T_{cm} يشير الى ان المركب سيفقد تركيبه البلوري نوع المعيني القائم وخاصية التوصيلية الكهربائية الفائقة ويتحول الى مركب شبه موصل للكهربائية ذا تركيب بلوري نوع المعيني التام اذا تمت عملية التلدين عند درجات حرارة مساوية تقريبا الى 1100ºC او اكثر .كذلك تتفق نتائج هذه الدراسة لقيم درجات الحرارة الحرجة للمركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ مع نتائج دراسة Hu et al [22] على المركب $(Sm_{1.95}Eu_{0.05})Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ الذي اظهر خواصا للتوصيلية الكهربائية الفائقة عند درجة حرارة 95K.

استخدمت تقنية حيود الاشعة السينية (X-ray diffraction) لتحديد التركيب البلوري لعينات المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ المحضرة بطريقة التلدين . ان نتائج طيف حيود الاشعة السينية للعينات الملدنة عند الدرجات الحرارية 900ºC و910ºC و920ºC و ºC 930 و940ºC و950ºC و970ºC يوضحها الشكل(5).

أظهرت العينة الملدنة عند درجة حرارة 910ºC قمما صغيرة وغير واضحة تتطابق مع التركيب البلوري **للمركب $BaCuO_2$. واختفت هذه القمم في طيف حيود الاشعة السينية للعينة الملدنة عند درجة حرارة 950º C . اصبحت القمم العائدة للتركيب المعيني القائم اكثر وضوحا. واعتمادا على هذه النتائج فقد اختبرت درجة الحرارة 950º C على انها افضل درجة حرارة تلدين لتحضير عينات المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-d}$ فائق التوصيل الكهربائي. وجدت قيم ابعاد وحدة الخلية *a* و*b* و*c* ووجدت انها مساوية بـ 3.866Å و3.899Å و11.728Å على التوالي. تتطابق هذه النتائج مع نتائج الدراسات السابقة للتركيب البلوري للمركب $SmBa_2Cu_3O_{7-d}$ [12].**

الأستنتاجات:

تتلخص أهم نتائج هذا البحث بما يأتي:

١ -ان التركيب البلوري للمركب $SmBa_2Cu_3O_{7-d}$ من النوع المعيني القائم التام.

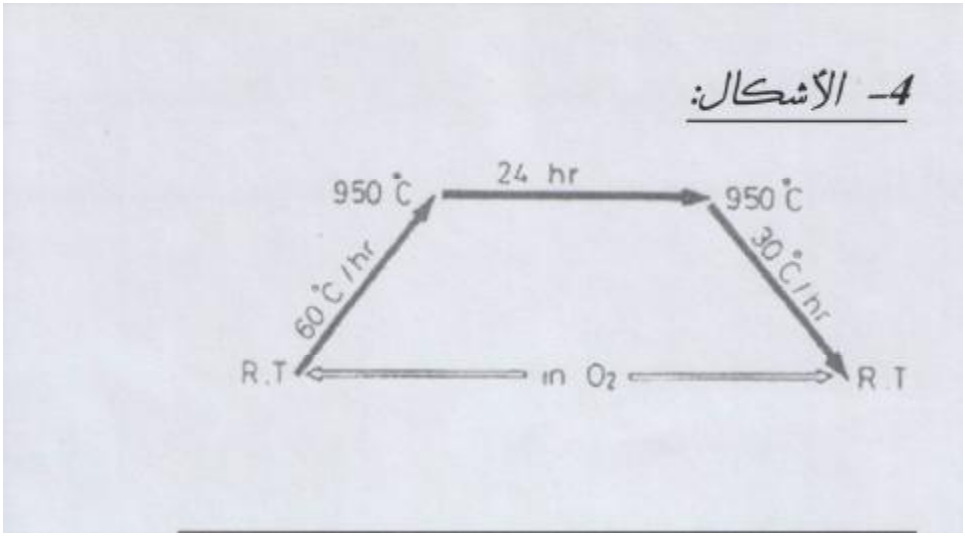
٢ - ان درجة الحرارة 950° C كانت مساوية لافضل درجة حرارة تلـــدين للحـــصول علـــى المركـــب $SmBa_2Cu_3O_{7-d}$ فائق التوصيل الكهربائي والمحضر بأستخدام ضغط كبس للعينة مقداره 10طن/سم2 .

٣ -كانت درجة الحرارة الحرجة لهذا المركب مساوية لـــ 88+2K.

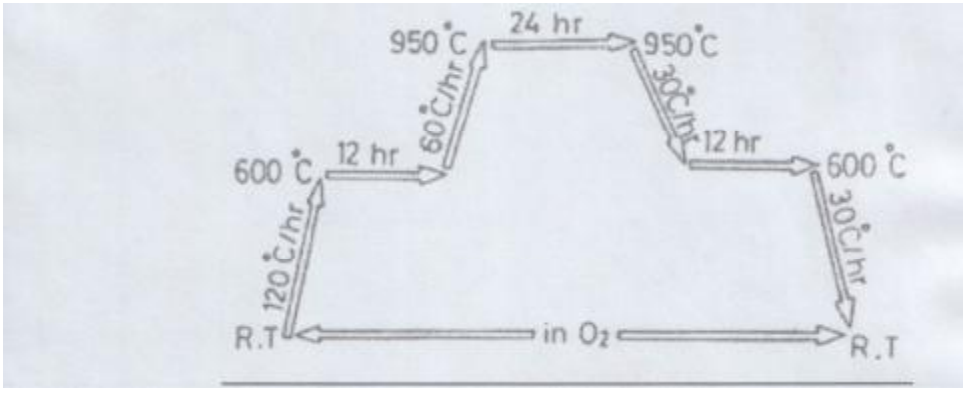
٤ -يحتوي المركب على نسبة مئوية عالية من الاوكسجين مساوية لـــ6,9 من خلال المقدار (6.5 +δ).

٥ -يمكن الاستنتاج ان المركب يفقد تركيبه البلوري المعيني نوع القائم وخاصية التوصيلية الكهربائية الفائقة ويتحول الى التركيب البلوري نوع المكعبي شبه الموصل إذا تمت عملية التلدين عند درجة حرارة 1100°C تقريبا او اكثـــر وذلـــك لأن المركب ينصهر في هذه الدرجة المئوية ولذلك يفقد خاصية التوصيل الفائق .

4- الأشكال:



(a)

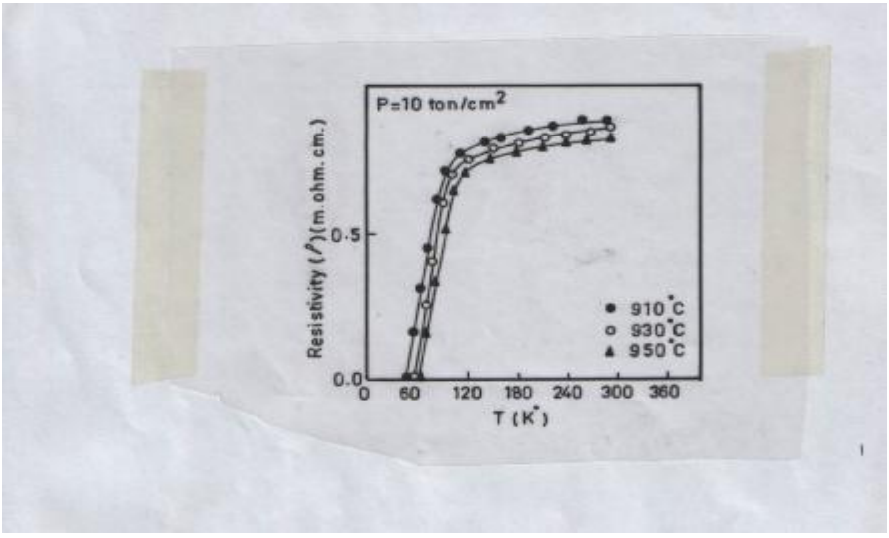


(b)

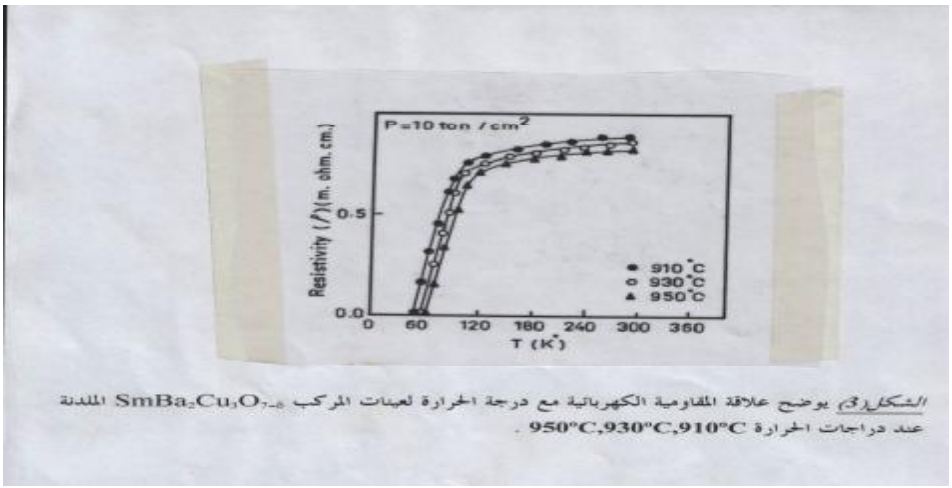
الشكل (١) يوضح خطوات المعاملة الحرارية للعينات المحضرة حيث ان

(a) عملية التلبيد في جو مشبع بالاوكسجين.

(b) عملية التلدين في جو مشبع بالاوكسجين.

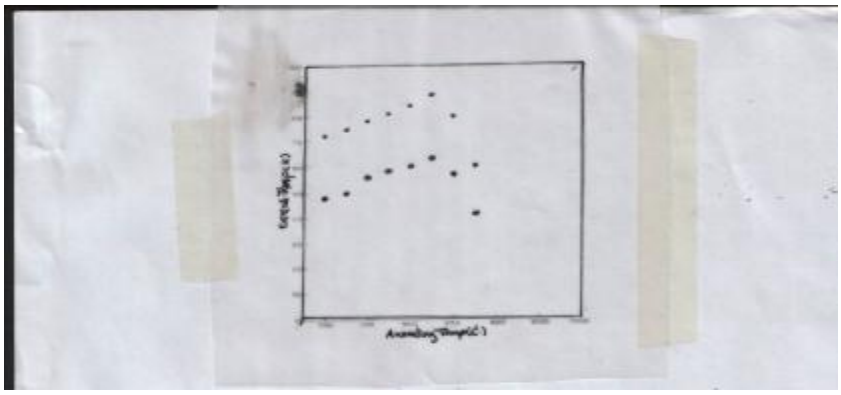


شكل (٢) يوضح علاقة المقاومية الكهربائية مع درجة الحرارة لعينات المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-8}$ الملدنة عند درجات الحرارة 970°C,940°C,920°C,900°C

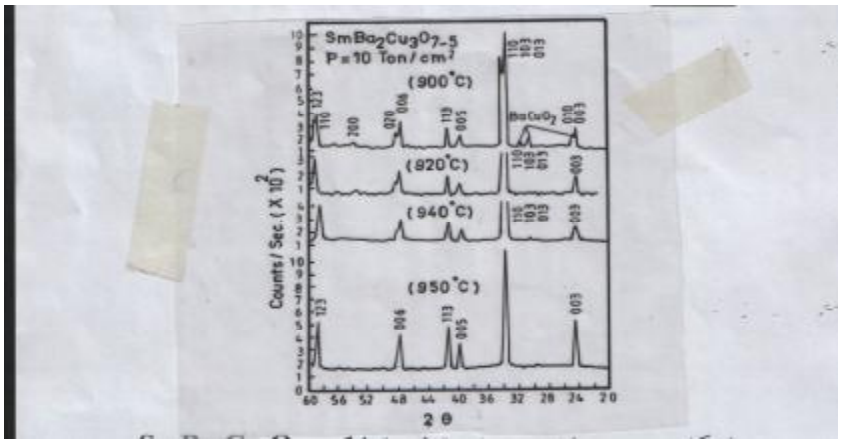


الشكل (3) يوضح علاقة المقاومية الكهربائية مع درجة الحرارة لعينات المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ الملدنة عند درجات الحرارة 950°C,930°C,910°C .

شكل (٣) يوضح علاقة المقاومية الكهربائية مع درجة الحرارة لعينات المركب $SmBa_2Cu_3O_{7-8}$ الملدنة عند درجات الحرارة 950°C,930°C,910°C



الشكل (٤) علاقة درجات الحرارة الحرجة مع درجة حرارة التلدين



الشكل (٥) طيف حيود الاشعة السينية للمركب $SmBa_2Cu_3O_{7-8}$ الملدنة عند درجات الحرارة 910°C مختلفة

المصادر:

1-Bednorz J.G. and Muller K.A.*Z. Phys. Condensed Matter.,* B64,189,(1986).

2-Chu C.W.,Hor P.H., Meng R.L., Gao L.,Huang Z.J. and Wang Y.Q.,*Phys. Rev. Lett* 58, 405(1987).

3-Wu M.K., Ashburn J.R.,Torng C.J.Hor P.H.,Meng R.L., Gao L.Huang Z.J.Wang Y.Q.and Chu C.W., *Phys. Rev. Lett.,* 58, 908(1987).

4-Wada T.,Suzuki, N.,Maeda, T.,Maeda A.,Uchada S.,Uchinokura K.and Tanaka S., *Appl. Phys. Lett.,* 52,1989(1988).

5-Sheng Z.Z.and Hermann A.M., *Nature,* 332,55,138(1988).

6-Ford P.J. and Saunders G.A. *High Tempreture Superconductivity*. 38.1(1997).

7- Nagarajan R., Vijayaraghavan R., Ganapathi L.,Mohan Ram R.A. and Rao C.N.R., *Physica* C158,453(1989).

8- Murphy D.W. Sunshine S.A. Van Dover R.B., Cava R.J., Bathlogg B., Zahurak S.M., and Schneemeyer L.F., *Phys.Rev. Lett.,* 58,1888(1987).

9- Ganapathi L., Kumar A. and Narayan J., *Physica* C167,667(1990).

10- Schilling A., Cantoni M., Guo J.D. and Ott H.R., *Nature,* 363,56(1993).

11- Chu C.W., Gag L., Chen F., Huang Z.J., Meny R.L.and Xue Y.Y.*Nature*,365,323(1993).

12-Reiffers M., Samuely P., Kupka M., Hudak O., Diko P., csach K., Miskuf J., Kavecansky V.and Ponomarenko N.M., *Modern Phys.Lett.,*C254,331(1995).

13- Page L., *Phys. Rev.*, B36,3617(1987).

14- Mohamed K.A. and Ali A.D. *Journal of Sciens,* 6,121 Tekreet University, Iraq(2000).

15- Mohamed K.A. and Ali A.D. *Journal of Sciens,* 13.Mentouri University, Algeria(2000).

16- Sawamura M.and Morita M., *Supercond. Sci. Technol.,* 15, 774(2002).

17- Krabbes G., Hopfinger Th., Wende C., Dikol P. and Fuchs G., *Supercond. Sci. Technol.,* 15,665(2002).

18- Ali, A.D., M.Sc.Thesis,Universityof Mosul(1998).

19- Fathi S. J., Ph.D. Thesis,Universityof Baghdad(1993).

20-Jassim.S.E,M.Sc.Thesis, Universityof Baghdad(1996).

21- Khan Y.J.*Material Science Letters,* 7,374(1988).

22- Hu A., Sakai N. and Murakami M., *Supercond. Sci. Technol.,* 15,675(2002**)**