

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة  
كلية الرياضيات و علوم المادة  
قسم الفيزياء



مذكرة مقدمة لاستكمال متطلبات شهادة الماستر أكاديمي

الميدان: علوم المادة

الشعبة: فيزياء

التخصص: فيزياء المواد

من إعداد الطالبة: عمومن كلثوم

بعنوان:

تحضير وتشخيص الطور Bi- 2212 المطعم بالحديد (Fe)

نوقشت وأجيزت علنا بتاريخ: 2022/06/15

أمام اللجنة المكونة من السادة:

الأستاذ/ بوراس ناصر      أستاذ محاضر رئيسا.

الأستاذ/ بالعكروم كريمة      أستاذ محاضر أ- مشرفا.

الأستاذ/ يعطوش منى أستاذ محاضر - مناقشا.

السنة الجامعية: 2022/2021



جامعة قاصدي مرباح - ورقلة  
كلية الرياضيات وعلوم المادة  
قسم الفيزياء



مذكرة مقدمة لاستكمال متطلبات شهادة الماستر أكاديمي

الميدان: علوم المادة

الشعبة: فيزياء

التخصص: فيزياء المواد

من إعداد الطالبة: عمومن كلثوم

بعنوان:

تحضير وتشخيص الطور  $Bi-2212$  المطعم بالحديد (Fe)

نوقشت وأجيزت علنا بتاريخ: 2022/06/15

أمام اللجنة المكونة من السادة:

الأستاذ/ بوراس ناصر أستاذ محاضر جامعة قاصدي مرباح - ورقلة رئيسا

الأستاذ/ بلعكروم كريمة أستاذ مساعد جامعة قاصدي مرباح - ورقلة مشرفا الأستاذ/ يعطوش منى أستاذ مساعد جامعة

قاصدي مرباح - ورقلة مناقشا

السنة الجامعية: 2022/2021

# إهداء

الى ابي الغالي حفظه الله لي واطال في عمري الذي بذل كل جهده ودعمني ماديا ومعنويا وبكل ما بوسعه اهدي ثمرة جهدي هذا الى اعز انسانة في حياتي، التي انارت دربي بنصائحها، وكانت بحرا طافيا يجري بفيض العجبة، والبسمة الى من زينته حياتي بضياء البدر، وكانت سببا في مواصلة دراستي الى من علمتني الصبر والاجتهاد، الى الغالية على قلبي.

امي

الى زوجي العزيز

الى من حلت بركة وجودهم في حياتي، ومن ملأت ضحكاتهم الجميلة عمري، اهدي هذا البحث الى اهلتي توأمي: محمد زياد، محمد إياد، الى اخواني، واخواتي، الى كل العائلة الكريمة، وزملاء الدراسة متمنية لهم التوفيق. والى أصدقائي كل واحدة باسمها، الى كل من ساعدني في كتابة هذه الذكرة، الى كل عائلة زوجي، الى كل الاشخاص الذين احمل لهم المحبة والتقدير. الى كل من نسيه القلم وحفظه القلب.

كلثوم

## شكرو وتقدير

أول من يشكر ويحمد آناء الليل وأطرافه النهار، هو العلي القهار الأول والآخر والظاهر و الباطن، الذي أغرقنا بنعمه التي لا تعد ولا تحصى، وأغدق علينا برزقه الذي لا يفن، و انار دربنا، فله جزيل الحمد والثناء العظيم، هو الذي انعم علينا إذ أرسل فينا عبده ورسوله \*محمد ابن عبد الله\* عليه ازكى الصلوات واطهر التسليم، ارسله بقرآنه المبين، فعلمنا مالم نعلم، وحثنا على طلب العلم أينما وجد. لله الحمد كله والشكر ان وفقنا على المشاق التي واجهتنا لإنجاز هذا العمل المتواضع. كما أرفع كلمة شكر الى الدكتورة المشرفة \*بلعروم كريمة\*، التي ساعدتني على انجاز بحث وتشجيعها لي. والشكر موصول للأستاذ الفاضل الذي ساعدنا في عملنا هذا \*الأستاذ ميموني مراد\* من جامعة الوادي. كما الشكر والتقدير للأساتذة الدكاترة اللجنة \*بوراس ناصر وبعطوشمى\*، ولا ننسى ان نقدم الشكر مركز البحث CRAPC الكيمياء والفيزياء على رأسهم مديرهم \*حكيم\* و مسؤولين على مخبر الMEB \*هانيسمية\*.

وفي الاخير لا يسعنا إلا ان ندعو الله عز وجل ان يرقنا السداد والرشاد والعفاف وان يجعلنا هداة.

# فهرسالمحتويات

## الفصل الاول :عموميات على النواقل الفائقة.

1.....المقدمة

1\_الموصلية

4.....الفائقة

4.....1.1 تاريخ الإنتاجية للموصلية الفائقة.

7.....2.1.1 نظرية BCS.

3.1.1. المغنطة

9.....

9.....4.1.1 تأثير مايسنر.

11.....5.1.1 المقاومة الصفرية.

11.....6.1.1 المقادير الحرجة.

✓ درجة الحرارة

11.....الحرجة (Tc).

12.....✓ الحقل المغناطيسي الحرج Hc.

12.....✓ كثافة التيار الحرج Jc.

12.....✓ السطح الحرج Sc.

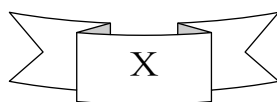
13.....2.1 تصنيفات المواد فائقة التوصيل.

13.....1.2.1 النوع الأول.

- 14.....النوع الثاني. 2.2.1
- 15.....الموصلية الفائقة للمواد. 3.1
- 15.....عناصر بسيطة. 1.3.1
- 16.....سبائك. 2.3.1
- 16.....الكربيدات والتتريد. 3.3.1
- 16.....التطبيقات الموصلات الفائقة. 4.1

## الفصل الثاني: آثار التطعيم على البنية البلورية

- 1.2. الموصلات الفائقة لدرجات الحرارة الحرجة (HCTS)
- 20.....
- 20.....الخصائص العامة. 1.1.2
- 20.....البنية. 2.1.2
- 21.....تباين الخواص. 3.1.2
- 21.....التركيب البلوري للنحاسيات القائمة على البزموت. 4.1.2
- 2.2. الخصائص الإلكترونية للنحاسيات الفائقة التوصيل
- 23.....
- 23.....خط  $CuO_2$ . 1.2.2
- 2.2.2. المطعيمات ومخطط المرحلة.
- 24.....



3.2.2. المنطقه المغناطيسية

المضادة.....25

3.2.2. تأثير المطعيمات النحاسيات.....26

4.2. آثار التطعيم.....27

5.2. تقنيات التشخيص.....28

1.5.2. حيود الأشعة السينية (XRD).....28

2.5.2. المبادئ الأساسية لانحراف مسحوق الأشعة السينية (XRD)

.....28

3.5.2. برنامج جانا.....30

4.5.2. المسح المجهر الإلكتروني (MEB)

.....31

5.5.2. التحليل الدقيق

الإلكتروني.....33

### الفصل الثالث: مناقشة وتحليل النتائج

3. عناصر التطعيم.....39

1.3. مصفوفة الأساس Bi2212.....40

2.3. إجراءات تحضير

العينة.....42

1.2.3. التفاعل الصلب - الصلب.....42



2.2.3. الخلط

43.....والطحن

44.....3.2.3. الكلسنة

45.....4.2.3. التشكيل

46.....5.2.3. التلييد

49.....3.3. تقنيات التشخيص

49.....1.3.3. حيود الأشعة السينية (DRX)

2.3.3. نتائج

50.....التحسين

3.3.3. دراسة البنية المجهرية

56.....بواسطة MEB

.....الخاتمة

58

59.....الملخص

## قائمة الجداول

الجدوال 1.1: يمثل ملخص عن أهم التواريخ المتعلقة بالنواقل الفائقة الناقلية.....5

الجدول 1.3: معلومات عامة على مادة التطعيم.....40

الجدول 2.3: معلومات مختلفة عن المركبات

التفاعلية.....41

الجدول 3.3: كميات المنتجات الأساسية

المستخدمة.....44

الجدول 4.3: كميات Fe المستخدمة.....44

الجدول 6.3: القيم المحسنة لثوابت الشبكة البلورية للعينات

المحضرة.....54

## قائمة الأشكال

شكل 1.1: اكتشاف مواد فائقة التوصيل في القرن العشرين.....6

الشكل 2.1: أزواج كوبر ونظرية BCS ..... 8

الشكل 3.1: آلية الاقتران الإلكتروني للموصلات الفائقة ..... 8

الشكل 4.1: تأثير مايسنر فوق الموصل الفائق ..... 9

الشكل 5.1: تأثير

مايسنر ..... 10

الشكل 6.1: يمثل السطح الحرج الذي يحدد المنطقة فائقة الناقلية ..... 13

الشكل 7.1: تباين المجال الحرج كدالة لدرجة الحرارة لموصل فائق من النوع

الأول ..... 14

الشكل 8.1: تباين المجال الحرج كدالة لدرجة الحرارة للموصلات الفائقة من النوع

الثاني ..... 15

الشكل 1.2: الرموز المستخدمة لذرات النحاس والأكسجين في الوحدة الخلوية للمراحل الثلاث للنحاسيات

القائمة على البزموت ..... 22

شكل 2.2: التركيب البلوري لمرحلة Bi2212 ..... 23

شكل 3.2: مخطط الطور

للنحاسيات ..... 25

شكل 4.2: تمثيلات تخطيطية لمستويات  $\text{CuO}_2$  ..... 26

الشكل 5.2: تمثيل تخطيطي لمستويات  $\text{CuO}_2$  محاطة بخزان الشحن يجعل من الممكن تغيير الرقم من

حاملات الشحنة داخل

الكبريتات ..... 27

الشكل 6.2: مبدأ تشغيل المجهر الإلكتروني

الماسح ..... 32

الشكل 7.2: التفاعل بين الحزمة الإلكترونية وسطح

العينة.....33

الشكل 1.3: استخدام البودرات المختلفة في التفاعل الصلب

والصلب.....43

الشكل 2.3: هاون المستعمل في التجربة.....45

الشكل 3.3: البرنامج الحراري لدورة الكلسنة.....46

الشكل 4.3: القالب المستعمل في

التجربة.....47

الشكل 5.3: تم الحصول على الحبيبات النهائية.....48

الشكل 6.3: عملية تحضير

العينة.....49

الشكل 7.3: يمثل طيف الحيود الاشعة السينية لمرحلة التليد Fe0.0-Fe0.1-Fe0.2 - .

Fe0.3.....50

الشكل 8.3: مظهر التحسين للعينة Fe 00.....52

الشكل 9.3: مظهر التحسين للعينة Fe 01.....52

الشكل 10.3: مظهر التحسين للعينة Fe 02.....53

الشكل 11.3: مظهر التحسين للعينة Fe 03.....53

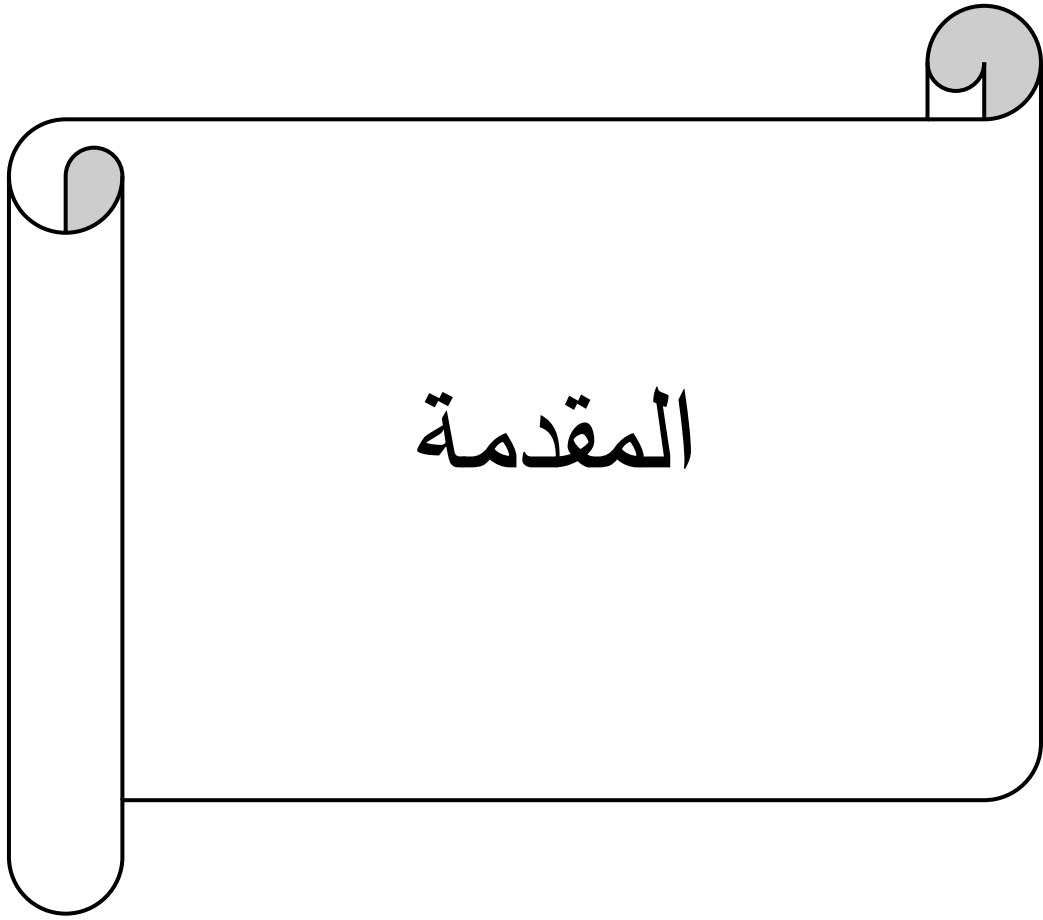
الشكل 12.3: منحني تغيرات ثابتي الشبكة a و b بدلالة نسبة التطعيم x(Fe).....55

الشكل 13.3: منحني تغيرات الثابت c بدلالة نسبة التطعيم x(Fe).....56

الشكل 14.3: منحنى تغيرات D بدلالة نسبة التطعيم

56.....x(Fe)

الشكل 15.3: منحنى تغيرات شعاع التموج q بدلالة نسبة التطعيم x(Fe).....57



## مقدمة

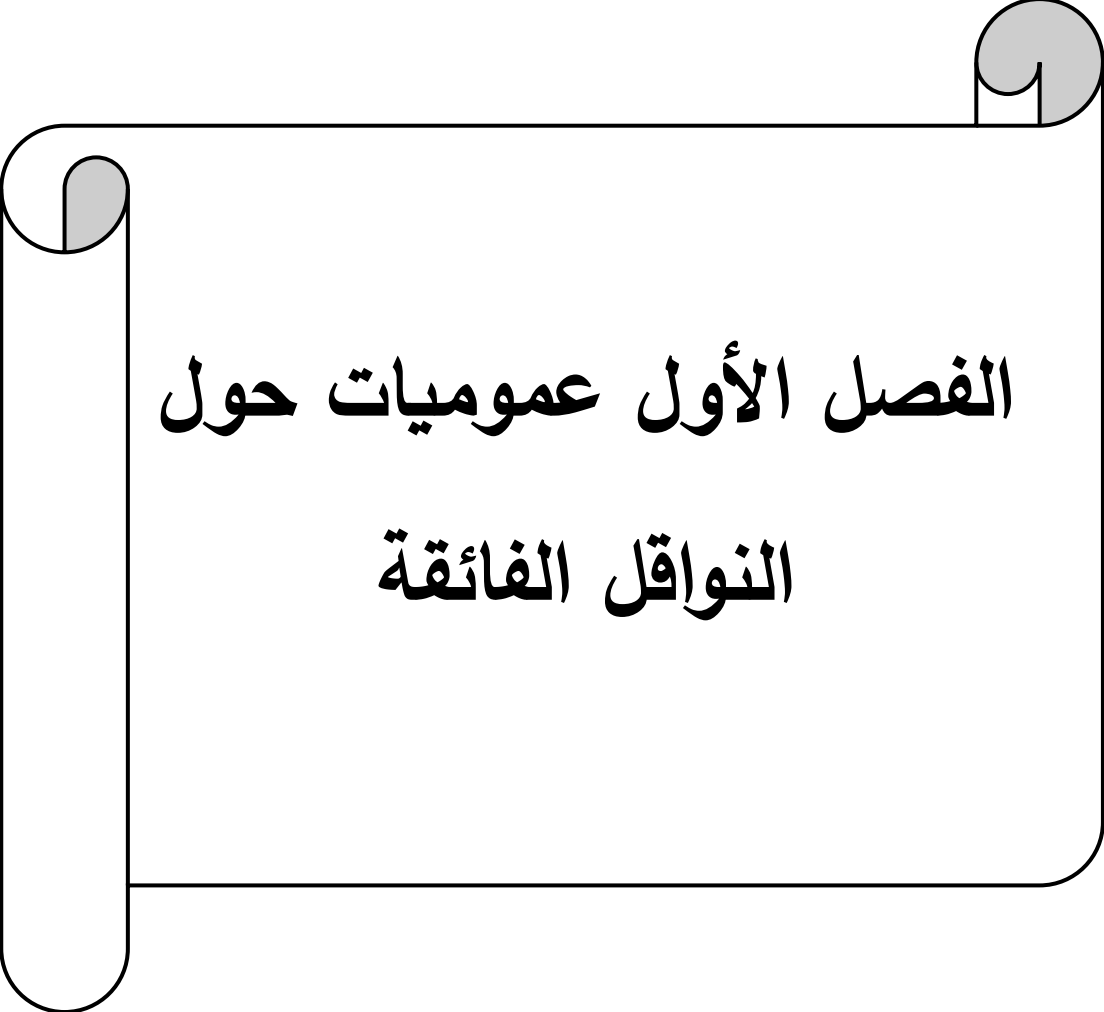
الموصلية الفائقة هي ظاهرة تعرض بعض المواد لمقاومة كهربائية و طرد المجالات المغناطيسية تحت درجة حرارة مميزة. بدأ تاريخ الموصلية الفائقة مع اكتشاف الفيزيائي الهولندي Heike Kamerlingh Onnes [7] للموصلية الفائقة في الزئبق في عام 1911. ومنذ ذلك الحين، تم اكتشاف العديد من المواد الأخرى فائقة التوصيل وتم تطوير نظرية الموصلية الفائقة. تظل هذه الموضوعات مجالات دراسية نشطة في مجال فيزياء المادة المكثفة. لأكثر من 20 عامًا وعلى الرغم من الكثير من الأبحاث، فإن الآلية الكامنة وراء الموصلية الفائقة في درجات الحرارة العالية في أكاسيد النحاس، والتي تسمى أيضًا النحاسيات، لا تزال مشكلة مفتوحة. نظرًا لاكتشاف الموصلية الفائقة في النحاسات بواسطة Muller وBernorز في عام 1986، ظهر اهتمام كبير في توصيف خصائصها الهيكلية والمغناطيسية والكهربائية. [8] بينما كانت درجة الحرارة الحرجة 23 كلفن في الموصلات الفائقة التقليدية، فإنها تصل الآن إلى 194 كلفن تحت الضغط في هذه المركبات الجديدة.

العنصر الهيكلي الأساسي للنحاس، وهو فئة من المواد فائقة التوصيل ذات درجة حرارة حرجة عالية مع عدد كبير جدًا من المركبات، مع ذلك في مظهر بسيط: طائرات مكونة من ذرات النحاس والأكسجين التي يمكن إضافة ناقلات فيها. تتناوب مستويات  $\text{CuO}_2$  هذه مع مستويات شحنات الخزان. تعتمد خصائص النحاسات بشدة على كثافة الإلكترون في هذه الخطط. يمكن تعديل حالة التكافؤ المختلطة للنحاس، الضرورية لظهور الموصلية الفائقة في النحاسيات، عن طريق تعديل البدائل أو الإضافات الموجبة.

نظرًا لأبعادها المنخفضة والارتباطات الإلكترونية القوية بين ذرات النحاس، فإن هذه المركبات لها خصائص فيزيائية أصلية ومتنوعة للغاية اعتمادًا على المنشطات في اللقطات، وفي حالة عدم وجود المطعيمات، فإنها تقدم ترتيبًا منخفضًا لدرجة الحرارة المضادة للمغناطيسية. عندما تزداد المطعيمات، يتم تدمير المغناطيسية

المغناطيسية المضادة وتصبح الطائرات فائقة التوصيل في درجات حرارة منخفضة. في الوقت نفسه، فإن الحالة الطبيعية فوق درجة حرارتها الحرجة وحالة الموصلية الفائقة تثير التساؤل على التوالي حول نظرية سوائل فيرمي والوصف المعتاد لـBCS، وهما نموذجان مناسبان تمامًا لوصف المعادن التقليدية والموصلات الفائقة. تتعلق دراستنا بآثار الإضافة على الخصائص التركيبية، والبصرية للمركب  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10+\Delta}$  (Bi2212)، في الفصل الأول نلقي نظرة سريعة على الظاهرة الفيزيائية للموصلية الفائقة وتاريخها وتطبيقاتها الرئيسية. هو عرض تقديمي محدد للموصلات الفائقة عند درجة حرارة حرجة عالية (SHTC)، إلى التركيب البلوري للنحاسيات القائمة على البزموت (Bi) وتأثير الإضافات في مراحل Bi2212، كما أنه يحتوي على مقدمة للخصائص المميزة للنحاس المستخلص من الرسم التخطيطي. مرحلة المنشطات بالحرارة، وكذلك وصفنا تقنيات التوصيف التجريبية المستخدمة في سياق هذه الأطروحة، ويصف الفصل الثالث الإجراء والمعالجات الحرارية المستخدمة في تحضير العينات المختلفة لمرحلة Bi2212، وكذلك النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها وعرضها ومناقشتها. يتم تقديم الدراسة الهيكلية للمادة بالتفصيل في هذا الفصل. تم تمييز العينات هيكليًا عن طريق حيود الأشعة السينية (XRD) والمسح المجهر الإلكتروني (SEM) وتحليل تشتت طاقة الأشعة السينية (EDX).





**الفصل الأول عموميات حول  
النواقل الفائقة**

تظهر خاصية الموصلية الفائقة في بعض المواد. تسمى العناصر عند درجة حرارة منخفضة الحرارة الحرجة مع عدم وجود مقاومة كهربائية وطرد المجال المغناطيسي المطبق وهذا ما جعلها مواد ذات تطبيقات غير محدودة وسنحاول فهم وشرح هذه الظواهر.

## 1\_الموصلية الفائقة :

الموصلية الفائقة هي خاصية تحتوي على مواد معينة لتوصيل التيار الكهربائي دون مقاومة بشرط أن تكون نقول أن هناك انتقالاً من الحالة الطبيعية (TC) درجة حرارته أقل من قيمة معينة تسمى درجة الحرارة الحرجة إلى الحالة فائقة التوصيل. تعارض أيضاً أي مجال مغناطيسي خارجي

### 1.1 تاريخ الإنتاجية للموصلية الفائقة:

لسنوات عديدة، من المعروف أن المقاومة الكهربائية للمعدن تتناسب مع درجة حرارته. في عام 1911، بدأ الفيزيائي الهولندي Heike Kammerlingh Onnes في Leiden بتبريد بعض الزئبق بالهيليوم السائل. درس مقاومة المعادن عند درجات الحرارة المنخفضة ووجد أن مقاومة الزئبق تنخفض فجأة إلى الصفر عند تبريده تحت  $-296^{\circ}\text{C}$  (= 4 كلفن) عند 4.2 كلفن. اختفت مقاومة المعدن تمامًا واكتشف أوزن الموصلية الفائقة. حصل على جائزة نوبل في عام 1913 لإسالة الهيليوم ليس خصيصاً للموصلية الفائقة. عندما تنتقل الإلكترونات فائقة التوصيل عبر الموصل، فإنها تمر دون عائق عبر الشبكة المعقدة. نظرًا لأنها لا تصطدم بأي شيء ولا تخلق أي احتكاك، فيمكنها نقل الكهرباء دون خسارة ملحوظة في التيار وعدم فقدان الطاقة. على الرغم من النطاق الواسع للمركبات (غير العضوية والعضوية) المعروفة بأنها فائقة التوصيل في درجات حرارة منخفضة جدًا، وغالبًا ما تكون أقل من نقطة غليان الهيليوم السائل، فإن أعلى درجة حرارة انتقال فائقة التوصيل

تم تسجيلها قبل عام 1986 كانت 23.2 كلفن للسبائك Nb<sub>3</sub>Ge تحت درجة حرارة الانتقال T<sub>c</sub>، تُظهر

المواد فائقة التوصيل خاصيتين مميزتين:

• المقاومة الكهربائية الصفرية (R = 0)

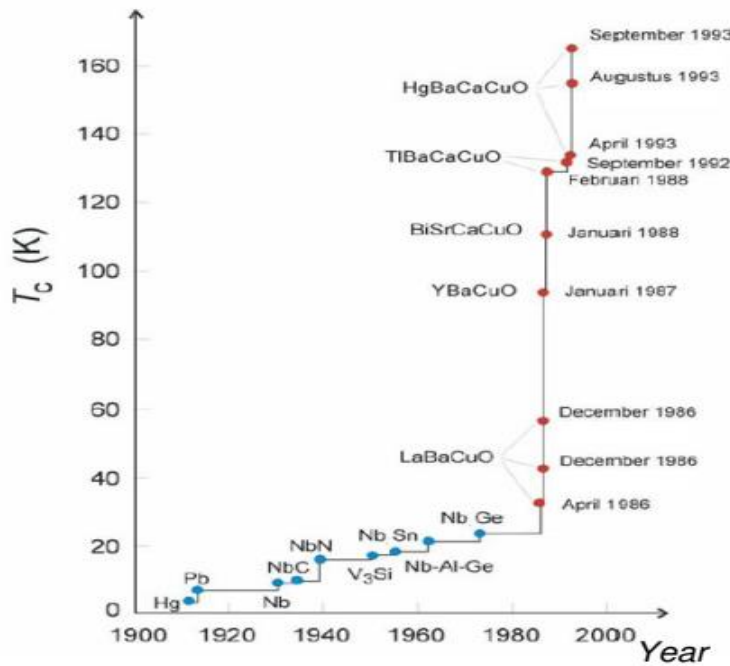
χ = -ve تأثير مايسنر (مغناطيسية مثالية

من اللافت للنظر أن السلوك المغناطيسي للموصل الفائق يختلف عن نفاذية المغناطيسية المثالية

جدول 1.1 : يمثل ملخص عن أهم التواريخ المتعلقة بالنواقل الفائقة الناقلية

السنة	الحدث
1908	تمبيع الهليوم
1911	كاميرلينغ-أونيس - اكتشاف الموصلية الفائقة للزئبق تحت الدرجة 4.2 k.
1933	أوشسنفيلد ومايسنر اكتشافا الديامغناطيسية الكاملة المرتبطة بحالة الناقلية الفائقة.
1935	نظرية لندن للسلوك الكهروديناميكي للنواقل فائقة الناقلية.
1957	(باردين - كوبر - شريفر) اقترحوا تفسيراً كميًا للنواقل الفائقة (نظرية BCS).
1961	إثبات تجربة لقيمة التدفق الكمي، وهو ما أثبت وجود أزواج كوبر.
1962	توقع جوزفون نظرياً للفعل النفقي لأزواج كوبر عبر طبقة رقيقة عازلة (أوكسيد).
1965	صناعة أسلاك فائقة الناقلية من NbTi.
1987	اكتشاف الناقلية الفائقة عند الدرجة 92K للمركب YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-δ</sub> .
1993	T <sub>c</sub> = 135k للمركب HgBa <sub>2</sub> Ca <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>8-δ</sub> .
2001	اكتشاف خصائص الناقلية الفائقة للمركب MgB <sub>2</sub> .

في عام 1957، قدم بارددين وكوبر وشريفنر (BCS) وصفاً مجهرياً رائداً للموصلية الفائقة والذي ضم جميع النظريات السابقة وشرح التطورات الأخيرة. يتمثل جوهر نظرية BCS في أن الإلكترونات في زوج موصل فائق من خلال تفاعل جذاب ضعيف بسبب الاهتزازات (الاهتزازات الشبكية) الموجودة بشكل طبيعي في الشبكة البلورية. نظرًا لأن الإلكترونات عبارة عن فرميونات، فإنها عندما تقترب تشكل بوزونات، والتي لا تقتصر على مبدأ استبعاد باولي، وبالتالي يمكن أن تتكثف جميعها في حالة كمية واحدة (نفس حالة الطاقة) مكونة مكثفات تسمى بوز-آينشتاين تكثيف. تُعرف أزواج الإلكترون هذه باسم أزواج كوبر. كانت نظرية BCS أول وصف ميكانيكي كم للموصلية الفائقة [1]. حدث تغيير جذري واختراق كبير في عام 1986 عندما اكتشف بيدنورز ومولر الموصلية الفائقة حول 35 كلفن في نظام Ba-La-Cu-O. على الرغم من أن درجة الحرارة هذه لم تكن عالية جدًا، فقد أدى الاكتشاف إلى استكشاف فئة كاملة من المواد المماثلة، وسرعان ما تم الوصول إلى درجات حرارة انتقالية أعلى من 90 كلفن في  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ . إن اكتشاف Bednorz و Muller قد تحقق لأنه تجاوز حد BCS لدرجة حرارة التحول  $T_c$  ويسمى الموصلات الفائقة ذات درجة الحرارة العالية HTSC.



شكل 1.1: اكتشاف مواد فائقة التوصيل في القرن العشرين [2].

## 2.1.1. نظرية BCS:

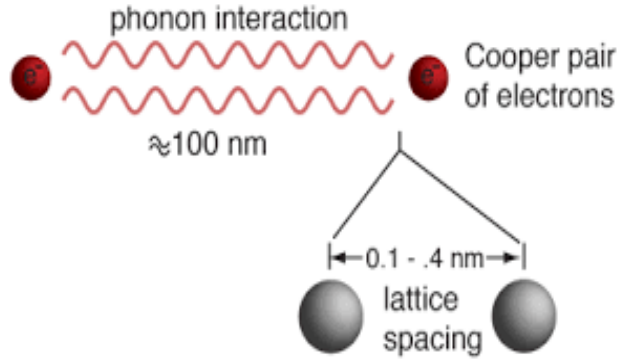
سيتم بعد ذلك تقديم مفهوم التقلبات فائقة التوصيل. كما ذكرنا سابقاً، لم يتم فهم الآلية الكامنة وراء الموصلية الفائقة حتى عام 1957، عندما قدم باردين وكوبر وشريففر [11]BCS نظريتهم الدقيقة المفصلة. قبل ذلك بكثير، كان من الممكن وصف العديد من ظواهر الموصلات الفائقة جيداً باستخدام النماذج الظاهرية، ويمكن تقسيم الحجج في نظرية BCS إلى ثلاثة أجزاء، والتي تفسر معاً الموصلية الفائقة:

1- تشكل الإلكترونات أزواجاً في وجود قوة جذب. إذا كان هناك تفاعل جذاب بين الإلكترونات على سطح فيرمي، بغض النظر عن مدى ضعف وثبات الأزواج من الإلكترونات ذات النواقل الموجية المتعاكسة والدوران المعاكس. تم الإشارة إلى إمكانية تكوين الزوج بالفعل بواسطة Cooper [12]، وأطلق على الأزواج أزواج Cooper.

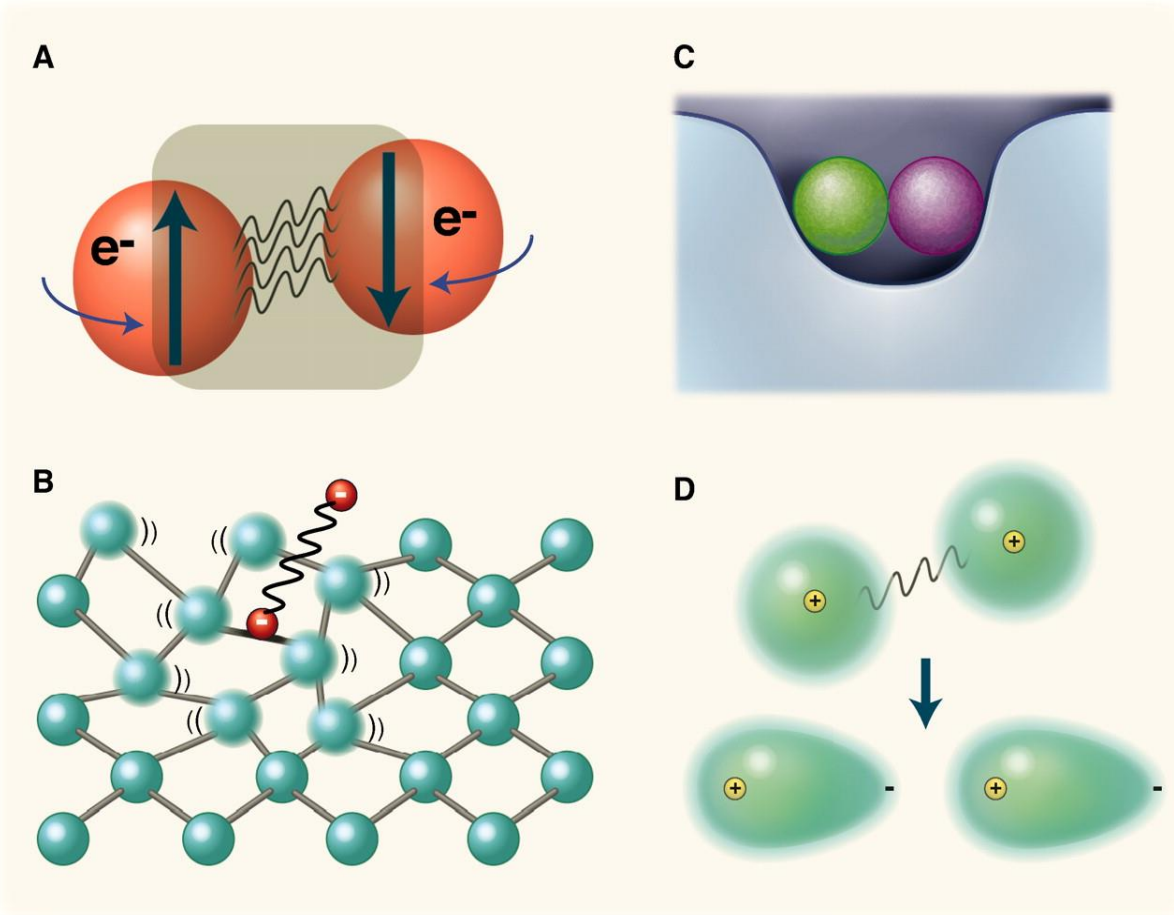
2- سبب التجاذب بين الإلكترونات هو اهتزازات الشبكة البلورية (الفونونات). من المحتمل أن يتم تعديل هذا الجزء من النظرية جزئياً من أجل الموصلات الفائقة ذات درجات الحرارة العالية.

3- تفتح فجوة الطاقة في كثافة الإلكترون للحالات على سطح فيرمي. في الصورة المبسطة، يتطلب التشتت المقاوم للإلكترونات في مادة فائقة التوصيل إثارة عبر فجوة الطاقة، ولا يمكن أن يحدث بسهولة.

تنطبق نظرية BCS الأصلية بشكل جيد فقط على الموصلات الفائقة ذات الاقتران الصوتي الضعيف للإلكترون. بعد عشرين عامًا من اكتشاف الموصلية الفائقة في الموصلات الفائقة لأكسيد النحاس ذات درجة الحرارة العالية (HTSC)، لا يوجد حتى الآن تفسير قابل للتطبيق لما يربط الإلكترونات معاً في زوج كوبر. تتشابه الخصائص الرئيسية لـ HTSCs إلى حد كبير مع تلك التي يتم ملاحظتها في الموصلات الفائقة الكلاسيكية، أي أنها لا تظهر مقاومة كهربائية وحجب مغناطيسي (تأثير مايسنر).



الشكل 2.1: أزواج كوبر ونظرية BCS



الشكل 3.1: آلية الاقتران الإلكتروني للموصلات الفائقة.

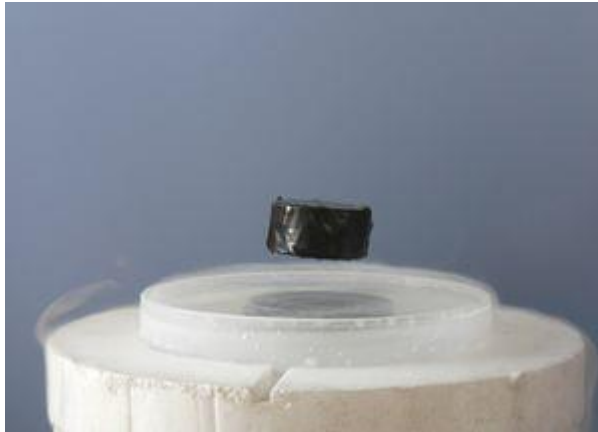
## 3.1.1. المغنطة :

إنها المواد ذات الطبقات غير المملوءة في الطبيعة (عائلات Fe و Pd و Pt)، وقد نتج عنها عدم تعويض العزم المداري والدوراني بحيث تتناغم العزم المغناطيسي الناتجة عن كل ذرة في المغنطة الكلية للمادة تميل العزم للتوجيه في اتجاه المجال المثير.

نظرًا لأن التأثير التوجيهي للمجال محدود بسبب التحريض الحراري، فإن العزم الناتج لكل وحدة حجم هي دالة لدرجة الحرارة. ومع ذلك، هناك بعض أنواع المغنطة التي لا تعتمد على درجة الحرارة، خاصة تلك التي تنتج عن دوران الإلكترونات الحرة في المعادن (التربة النادرة، ملح مجموعة الحديد، Cr).

## 4.1.1. تأثير مايسنر :

هناك رابط مغناطيسي للموصلية الفائقة. يطلق عليه النفاذية المغناطيسية، وهو اسم آخر لتأثير مايسنر. تأثير مايسنر هو الاستبعاد التام للمجالات المغناطيسية من داخل الموصل الفائق. اكتشفها والتر مايسنر وروبرت أو شسينفيلد في عام 1933 [6]. اكتشفوا أن مادة فائقة التوصيل ستصد المجال المغناطيسي. يوضح تأثير مايسنر أنه يمكن رفع المغناطيس فوق مادة فائقة التوصيل.



الشكل 4.1: تأثير مايسنر فوق الموصل الفائق.

نستخدم عينة من المواد فائقة التوصيل التي نطبق عليها مجالاً مغناطيسياً خارجياً بسعة ضعيفة. في نفس الوقت تبرد العينة إلى درجة حرارة أقل من  $T_c$ . يُلاحظ أنه عند تبريد موصل فائق بالإضافة إلى تطبيق مجال مغناطيسي ضعيف، فإن خطوط التدفق لا تخترق المادة، وبالتالي ينقص المجال المغناطيسي الداخلي للمادة. تتميز بمقاومة صفرية، فسّر مايسنروأوكسينفيلد خاصية الموصلات الفائقة من خلال ظهور التيارات الفائقة على سطح المادة مما يخلق تدفقاً مغناطيسياً على السطح يكون عكساً تمامًا للحقل المغناطيسي الخارجي.

$$\vec{B} = 0 = \mu_0 \vec{H}_a + \vec{B}_s \text{ with } \vec{B}_s = \mu_0 \vec{M} \text{ and } \vec{M} = \chi \vec{H}_a$$

$\mu_0 H_a (1 + \chi) = 0$  and  $\chi = -1$  (Erreur ! Il n'y a pas de texte

répondant à ce style dans ce document..1 )

وبالتالي، فإن المواد فائقة التوصيل تُظهر نفاذية مغناطيسية مثالية. لا يمكن استنتاج هذه النتيجة المهمة فقط

من حقيقة أن الموصل الفائق هو مقاومة صفرية. وفقاً لقانون أوم  $\vec{E} = \rho \vec{j}$ ، يُلاحظ أنه إذا أُلغيت

المقاومة، فإن  $\vec{j}$  تظل محدودة ويجب أن تميل  $\vec{E}$  إلى الصفر. أو وفقاً لمعادلة ماكسويل،  $(\partial \vec{B} / \partial t)$

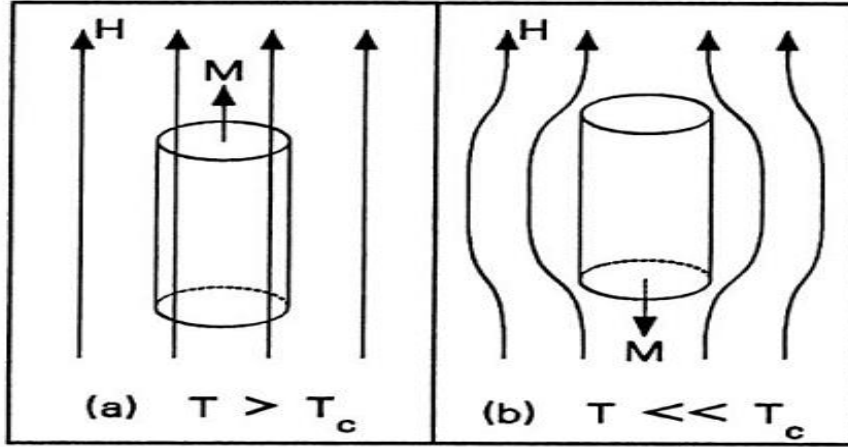
$\partial / \partial t$  يتناسب مع التعفن  $E$ ، وبالتالي تشير المقاومة الصفرية إلى  $(\partial \vec{B} / \partial t) = 0$ . هذا يريد أن يقول كل

شيء ببساطة أن التدفق في المعدن يمكن أن يختلف فقط عند تبريده إلى ما دون درجة حرارة الانتقال.

يتعارض هذا مع تأثير مايسنر، وبالتالي يشير إلى أن ثنائية المغناطيسية الكاملة هي خاصية جوهرية للحالة الفائقة

التوصيل [4]





الشكل 5.1: تأثير مايسنر [5].

### 5.1.1. المقاومة الصفيرية:

تتمتع الموصلات الفائقة بالقدرة على توصيل الكهرباء دون فقد الطاقة. اي عندما يدخل التيار إلى موصل عادي، اي مثلاً سلك نحاسي، يتم فقد طاقة معينة. في المصباح الكهربائي أو الموقد الكهربائي، تولد المقاومة الكهربائية الضوء والحرارة.

### 6.1.1. المقادير الحرجة:

ثلاثة معايير أساسية تحكم وتؤثر على الحالة فائقة الناقلية:

- درجة الحرارة الحرجة  $T_c$ .

- الحقل المغناطيسي الحرج  $H_c$ .

- كثافة التيار الحرجة  $J_c$ .

- السطح الحرج  $S_c$ .

كما ذكرنا بأن الناقلية الفائقة لا تظهر إلا عندما تكون درجة الحرارة أقل من قيمة حرجة معينة، ولكنها ليست وحدها التي تميز الناقلية الفائقة لمادة ما. بل هناك قيم أخرى حرجة تتميز بها النواقل الفائقة ومنها المجالات التالية:

✓ درجة الحرارة الحرجة ( $T_c$ ):

درجة الحرارة الحرجة هي درجة الحرارة التي تحتها تظهر خاصية الناقلية الفائقة (انعدام المقاومة الكهربائية). وهي أقل من 23 كلفن للمواد التي تعرف بدرجة حرارة حرجة منخفضة وفي حدود 100 كلفن للنواقل الفائقة التوصيل المعروفة بالنواقل الفائقة ذات درجة حرارة عالية (HTS). هي درجة الحرارة بين الحالة العادية والحالة فائقة التوصيل.

✓ الحقل المغناطيسي الحرج  $H_c$ :

تعتبر قيمة المجال المغناطيسي الحرج بمثابة المقدار الثاني الحرج الذي يميز المواد فائقة الناقلية وهو القيمة التي إذا تجاوزها الحقل المطبق تختفي على اثره الناقلية الفائقة و تعطى عبارة الحقل المغناطيسي داخل المادة من خلال العلاقة التالية

$$B = \mu_0 (H + M)$$

حيث

هي السماحية المغناطيسية في الفراغ.  $\mu_0$  :

H: هو المجال المغناطيسي داخل المواد.

M: هي المغنطة.

✓ كثافة التيار الحرج  $J_c$ :

في الناقل الفائق ترتبط كثافة التيار الحرج بالمجال المغناطيسي الحرج  $H_c$ ، فالتيار المتدفق في الناقل الفائق ينتج حقل مغناطيسي على سطح الناقل. إن التيار الحرج هو التيار الذي ينتج عنه المجال المغناطيسي المساوي للمجال المغناطيسي الحرج في الناقل الفائق. فان تعريف كثافة التيار الحرج أكثر تعقيدا وذلك بسبب الاختراق الجزئي للمجال في المواد وفق مرحلتين : عادية وفائقة الناقلية. عندما يتجاوز التيار قيمة حرجة، فإنه يخترق الناقل الفائق، ولذلك تتغير المقاومة فجأة من قيمة صفر إلى قيمة غير صفرية.

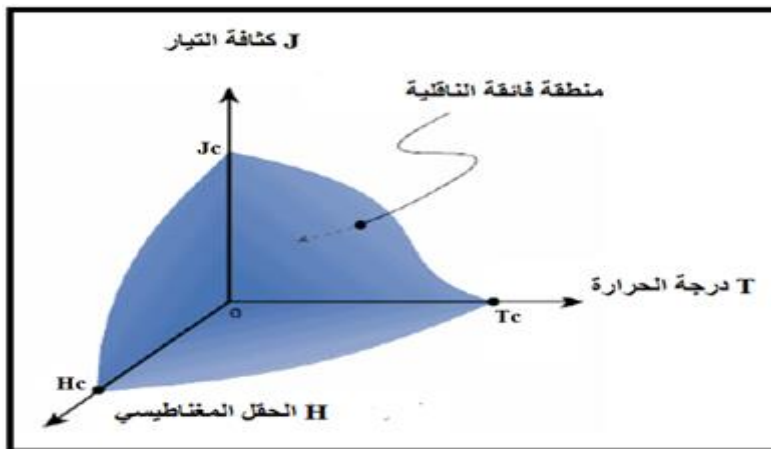
### ✓ السطح الحرج $J_c$ :

يمكن للناقل الفائق أن يفقد تأثير مايسنر في الحالات التالية:

- إذا تجاوزت درجة الحرارة الحرجة ( $T_c$ ).
- إذا تجاوز المجال المغناطيسي الخارجي المطبق قيمة حرجة المسمى الحقل الحرج ( $H_c$ ).
- إذا فاقت كثافة التيار داخله كثافة التيار الحرج ( $J_c$ ).

هذه المعايير الثلاثة ( $T_c$ )، ( $H_c$ ) و ( $J_c$ ) ، و تمكن من تحديد المجال فائق الناقلية والذي

بعده يعود إلى الحالة العادية كما هو مبين في الشكل (8-1).



الشكل 6.1: يمثل لسطح الحرج الذي يحدد المنطقة الفائقة الناقلية

## 2.1. تصنيفات المواد فائقة التوصيل:

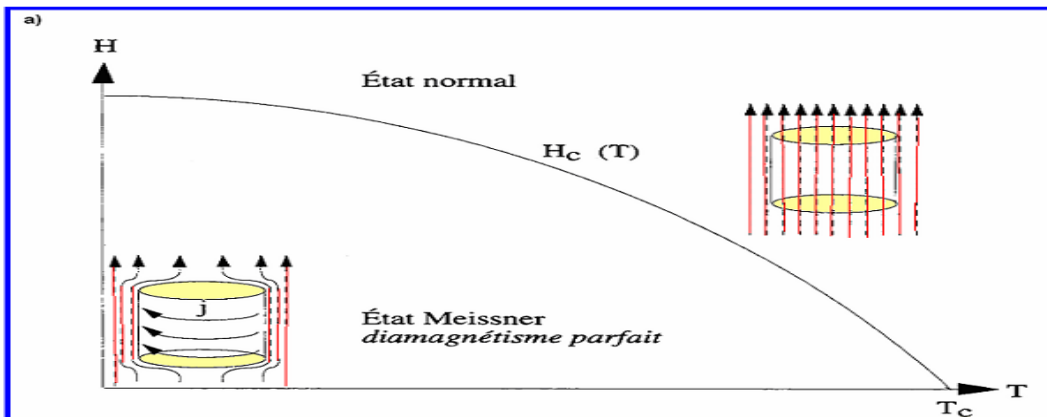
ينقسم إلى نوعين:

### 1.2.1 النوع الأول:

بالنسبة للموصلات الفائقة من النوع الأول، يوجد مجال مغناطيسي حرج واحد فقط  $H_{C1}$ ، بالإضافة إلى حالتين: موصل فائق أو عادي. يتغلغل المجال المغناطيسي جزئيًا في المادة على طول يسمى طول لندن، وفيه تطور تيارات فائقة. الموصلات الفائقة من هذا النوع هي في الأساس أجسام نقية، مثل الزئبق (Hg) والإنديوم (In) والقصدير (Sn) والرصاص (Pb). في الشكل 1.3، تم تقديم الخاصية  $H_C(T)$  للموصل الفائق من النوع الأول. نظرًا لكون المجال الحرج صغيرًا نسبيًا نظرًا لأنه لا يتجاوز 0.2 تسلا، فإن هذا يوضح أن الموصلات الفائقة من النوع الأول ليست ذات فائدة في الهندسة الكهربائية. يتحقق من العلاقة التالية:

$$H_C(T) = H_C^0 \left(1 - \left(\frac{T}{T_C}\right)^2\right) \quad (\text{Erreur ! Il n'y a pas de texte répondant à ce style dans ce document..2})$$

مع  $H_C^0$  الحقل عند درجة حرارة صفر

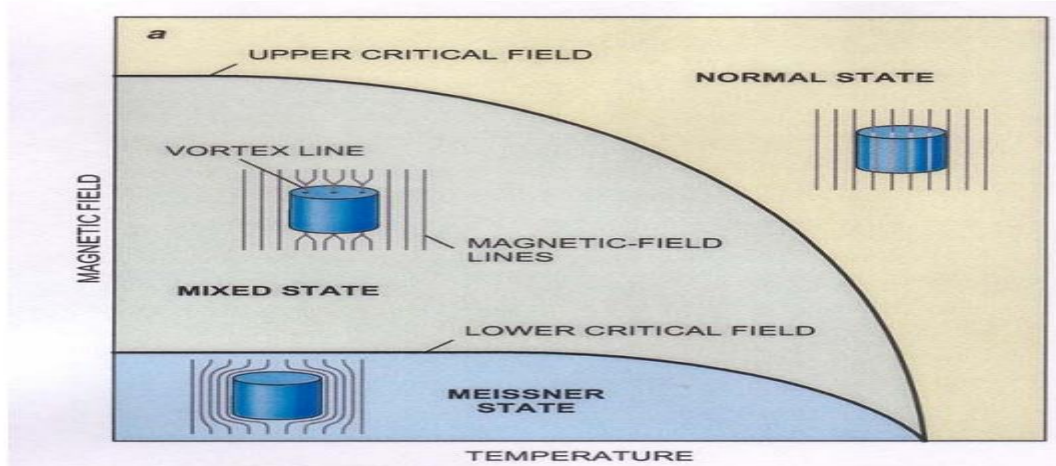


الشكل 7.1: تباين المجال الحرج كدالة لدرجة الحرارة لموصل فائق من النوع الأول.

### 2.2.1. النوع الثاني:

هذه الموصلات الفائقة لها مجالان حرجان،  $H_{c1}$  و  $H_{c2}$  أعلى بكثير من الأول (حتى عدة مئات من التسلا في الأكاسيد). هذه موجودة بالإضافة إلى القيم الأعلى لدرجة الحرارة، أو المجال الحرج والتيار (الشكل 1.4). وجود مجالين حرجين يجعل الأمور أكثر تعقيداً. ثلاث مناطق للنظر فيها:

- المنطقة 1 ( $H < H_{c1}$ ): يشبه السلوك سلوك الموصلات الفائقة من النوع الأول. - المنطقة 2 ( $H_{c1} < H < H_{c2}$ ): تتميز الحالة المختلطة باختراق جزئي للمجال المغناطيسي على شكل دوامة، وبالتالي نفاذية مغناطيسية جزئية. - المنطقة 3 ( $H > H_{c2}$ ): تصبح المادة طبيعية مرة أخرى



الشكل 8.1: تباين المجال الحرج كدالة لدرجة الحرارة للموصلات الفائقة من النوع الثاني [5].

### 3.1. الموصلية الفائقة للمواد:

تظهر الموصلية الفائقة للمواد في عدة أشكال مختلفة:

#### 1.3.1 عناصر بسيطة:

تم اكتشاف الموصلية الفائقة لأول مرة في العناصر البسيطة الزئبق، ثم الرصاص. بعد دراسة كل عنصر من عناصر الجدول الدوري، وجد أن 54 عنصراً من 101 عنصر له خاصية الإنتاجية الفائقة [3] في درجات حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة، حيث يختلف الأخير عن بعضها البعض، وبعض هذه العناصر غير متبلور من ومن ناحية أخرى فإن أفضل المعادن (النحاس والفضة والذهب) لا تملك هذه الخاصية الشكل 8.1: الجدول الدوري الذي يوضح التوزيع ودرجة الحرارة الحرجة TC لعنصر بسيط لوحظ فيه الموصلية الفائقة مع أو بدون تطبيق الضغط (العناصر الزرقاء + العناصر الزرقاء السماوية = عناصر الإنتاج الفائق) [3]

### 2.3.1. سبائك:

أفضل الممثلين لهذه العائلة من المنتجات الفائقة هم Niobium\_Zirconium (TC = 11K)، [3] ونيوبيوم تيتانيوم (Nb\_Ti)، (TC = 9 K) [3] لهما هيكل بلوري مكعب مركزه الوجه، لأن هاتين المادتين باقتان، حتى اليوم المواد الأساسية لمعظم تطبيقات الموصلية الفائقة في مجال الهندسة الكهربائية.

### 3.3.1. الكريباتوالنتريد:

هذه المركبات التي تشتمل عناصرها على الكربون أو النيتروجين، بالإضافة إلى مركب هجين يحتوي على كلاً من الكربون والنيتروجين، حيث يكون تركيزها الكلي يساوي 1.

### 4.1. التطبيقات الموصلية الفائقة:

تتمتع الموصلات الفائقة بتطبيقات هائلة في مختلف المجالات. بعضها مدرج أدناه:

التشخيص الطبي - مغناطيس لأجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي.

(أ) تكنولوجيا الحوسبة:

الكمبيوترات. أجهزة الذاكرة.

(ب) الالكترونيات وتكنولوجيا القياس:

أجهزة استقبال بولومتر للإشعاع الحراري. العدسات المغناطيسية فائقة التوصيل.

(ج) الماسكات.

الطاقة النووية والفضاء مغناطيس للتفاعلات النووية الحرارية. مسرعات الجسيمات الأولية.

غرفة الفقاعة. مضخات الرنين. الجيروسكوبات. مولدات مغناطيسية هيدروديناميكية (MHD).

حماية رواد الفضاء من الإشعاع. فائق التوصيل لمسرع الجسيمات الخلفية والتحفيز مغناطيس

النقل والمواصلات: رفع القطارات. رافعات مغناطيسية.

## مراجع الفصل الأول:

- [1]. A, Mohanta. ، تقلب معلمات الطلب فائق التوصيل في الموصلات الفائقة المخدرة والمركبة،  
2011.
- [2]. E. and F. Pattini ، Gilioli ، نمو أغشية الأكسيد الرقيقة لأجهزة الطاقة بواسطة ترسيب  
الإلكترون النبضي.
- [3]. هوت، آر، وآخرون، المواد فائقة التوصيل - نظرة عامة موضوعية. الحدود في المواد فائقة التوصيل،  
2005: ص. 1-69.
- [4]. Etude et caractérisation de Structures ، M. ، Mahtali  
.supraconductrices. 2007
- [5]. Z ، Weh. ، الخواص المغناطيسية للموصلات الفائقة في درجات الحرارة العالية. NSF Grant  
DMR
- [6]. دبليو ميسنر، ر. Ochsenfeld ، 21 ، Naturwissenschaften ، 1933 (787).
- [7]. Kamerlingh Onnes ، 120 ، Leiden Comm. ، ب، 122 ، ب، 124 ج (1911).
- [8]. ز. K. A. Müller و Bednorz. ، Z. Phys. ، ب 64 ، 189 (1986).
- [9]. Effet du dopage dans les céramiques ، N. ، BOUSSOUF  
.2011 ، supraconductrices de  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_8 + \delta$
- [10]. ك. أونز، اتصالات من المختبر الفيزيائي بجامعة ليدن (1911).
- [11]. جيه باردن، ل. كوبر، وجيه آر شريففر، مراجعة فيزيائية، 108 (1957) 1175.
- [12]. L. N. ، كوبر، فيز. القس 104 (1956) 1189.



الفصل الثاني: تأثير التطعيم  
على التركيب البلوري  
وطرق التشخيص

في هذا الفصل، نقدم تأثير المنشطات على التركيب البلوري والطرق المختلفة المستخدمة لتحليل عيناتنا.

## 2. الموصلات الفائقة لدرجات الحرارة الحرجة (HCTS):

جميع HCTS تقريبًا عبارة عن نحاسيات، أي مركبات تعتمد على أكسيد النحاس CuO، وتحتوي بشكل عام على واحد أو أكثر من مستويات CuO<sub>2</sub> في هيكلها. تنسب النماذج النظرية المختلفة إليهم خصائص معينة. وبالتالي، فإن مركبات YBaCuO والبزموت عبارة عن سيراميك يمتلك شبكة معقدة إلى حد ما وتباين قوي بسبب تراكم طائرات CuO<sub>2</sub> فائقة التوصيل (تسمى طائرات ab) وطائرات العزل. وتشكيل خزان شحنات للطائرات فائقة التوصيل

### 1.1.2. الخصائص العامة:

#### 2.1.2. البنية:

يحتوي هيكل جميع الكوبريتات على كتلة أو أكثر من كتل تشبه البيروفسكايت المكعبة: ذرة نحاسية في مركز ثماني السطوح CuO<sub>6</sub>، توجد في رؤوسها ذرات أكسجين، ويتركز هذا الجسم نفسه في شبكة مكعبة. مستوى CuO<sub>2</sub> هو المستوى الذي يحتوي على ذرات النحاس في كتلة البيروفسكايت. تشكل الأوكتاهدرا شبكة مربعة بشكل عام تشترك في رؤوسها ولها تناظر تربيعي، وبالتالي يمكن تصنيف المواد وفقًا لعدد طبقات CuO<sub>2</sub> ولدنا على سبيل المثال:

- مواد ذات طبقة واحدة: (HgBa<sub>2</sub>CuO<sub>4</sub> + d (Hg<sub>1201</sub>, Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>CuO<sub>6</sub> + d (Bi2201) و (La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub> LSCO) ؛

- مواد ثلاثية الطبقات:  $(\text{Bi2223}) + d [\text{29HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8] + d [\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_{10}] + d (\text{Hg}_{1223})$ .

عدد المستويات  $\text{CuO}_2$  له علاقة مباشرة بخصائص التوصيل الفائق. بشكل عام، تزداد درجة الحرارة الحرجة  $T_c$  عندما يزداد عدد  $n$  من طبقات  $\text{CuO}_2$ . تم التحقق من هذه القاعدة في نفس عائلة المركبات مثل تلك التي تحتوي على البزموت على سبيل المثال. العديد من الكوبريتات، مثل  $\text{Y123}$  و  $\text{Bi2212}$ ، لها تشوه معيني طفيف.  $\text{Hg}$ ، إلهفي الصيغة.

### 3.1.2. تباين الخواص:

بسبب بنية مركبات  $\text{SHTC}$ ، تتحرك الإلكترونات بسهولة في بعض الاتجاهات، وبصعوبة في أخرى. هذه الخاصية هي نتيجة التباين الهيكلي الذي ينتج عنه سلوك متباين لكثافة التيار الحرج والحقل المغناطيسي [9].

تكون كثافة التيار الحرج عالية عندما يكون اتجاه التيار على طول مستويات  $\text{CuO}_2$

ولكن يكون حجمه أصغر بمرتين إلى ثلاث مرات عندما يكون هذا الاتجاه متعامدًا مع نفس مستويات

$\text{CuO}_2$ ، ويرجع ذلك إلى حقيقة أن مرور التيار الفائق عبر يتم تنفيذ الطبقة العازلة من أكسيد الفلز من خلال

تأثير النفق وبالمثل، يكون المجال المغناطيسي الحرج أعلى بكثير عندما يتم تطبيقه في الاتجاه العمودي على

المستويات منه في ذلك الموازي لتلك المستويات نفسها [10,11].

### 4.1.2. التركيب البلوري للنحاسيات القائمة على البزموت:

تتكون عائلة المركبات  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4}$  (أو نظام  $\text{BSCCO}$ ) أساسًا من ثلاث مراحل فائقة

التوصيل:  $\text{Bi2201}$  و  $\text{Bi2212}$  و  $\text{Bi2223}$  [12]. مراحل *la première stage*, Parmi ces

(*découverte est la phase (Bi2212)*) في عام 1988 [13]. في بنية مركبات هذه العائلة، التي

تحتوي على عدد  $n$  من المستويات  $\text{CuO}_2$  لكل نصف خلية:

- طائرات  $\text{CuO}_2$  مسؤولة عن خصائص التوصيل الفائق ؛

- تلعب خطتا  $\text{BiO}$  دور خزان الشحن ؛

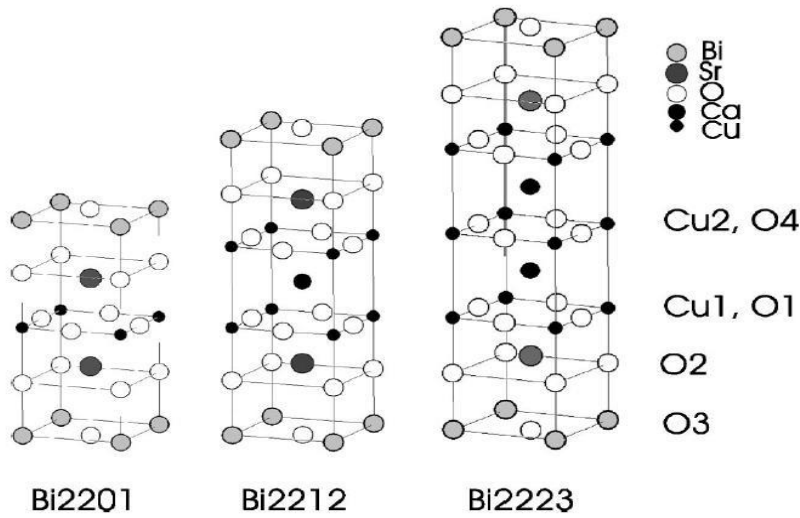
- خطط  $\text{SrO}$  الإضافية تضمن استقرار الهيكل

من  $n = 2$ ، يتم إدخال طائرات ذرات  $\text{Ca}$  بين الطائرات المجاورة لـ  $\text{CuO}_2$

غالبًا ما يكون بنية هذه المركبات معينًا مع معاملات شعيرية قريبة جدًا من  $a$  و  $b$  (والتي تصف بنية أحيانًا بأنه

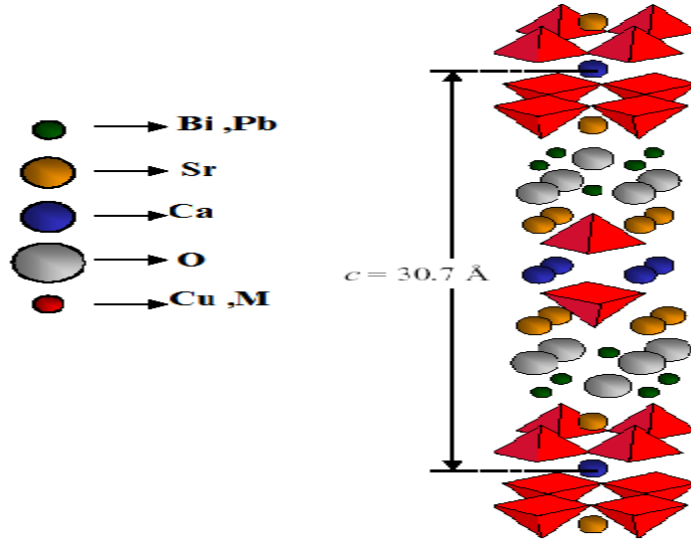
رباعي الزوايا)، بينما تختلف العامل  $c$  وفقًا للمرحلة. يختلف عامل الشبكية  $c$ ، إلى حد كبير، كدالة لمحتوى

الأكسجين وكذلك للتركيب الموجب، ويعتمد دور ذرات النحاس والأكسجين على موقعها في الخلية الأولية



الشكل 1.2: الرموز المستخدمة لذرات النحاس والأكسجين في الوحدة الخلوية للمراحل الثلاث للنحاسيات

القائمة على البزموت [14].



شكل 2.2: التركيب البلوري لمرحلة [15]Bi2212.

## 2.2. الخصائص الإلكترونية للنحاسيات فائقة التوصيل:

تحدث معظم الخصائص الإلكترونية في طائرات  $\text{CuO}_2$ ، وتختلف هذه الخطط، المفصولة بطائرات خزان الحمولة، من نظام إلى آخر.

### 1.2.2. طبقات $\text{CuO}_2$ :

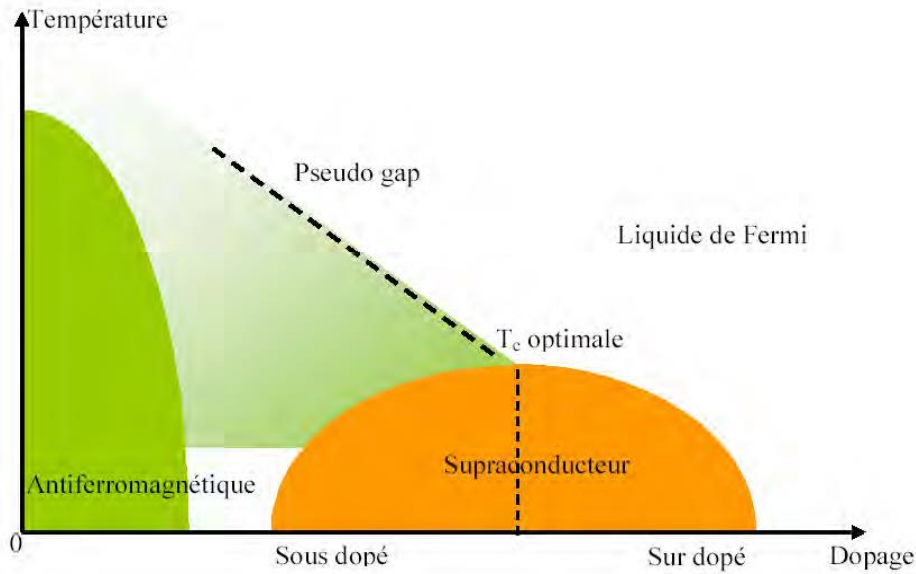
يعتبر غالبية المؤلفين أن مستوى  $\text{CuO}_2$  مسؤول عن الموصلية الفائقة عند درجة حرارة حرجة عالية. يتكون مستوى  $\text{CuO}_2$  من أهرامات [16]، تتكون من ذرات الأكسجين، حيث يوجد كاتيون ذرة النحاس في مركز المستوى الأساسي، وتكون ذرات النحاس في طائرات  $\text{CuO}_2$  أقرب بكثير إلى ذرات الأكسجين في المستوى ( $1.9 \text{ \AA}$ ) من ذرات الأكسجين الموجودة في المستوى الرأسي. ( $2.4 \text{ \AA}$ ). التداخل بين مدارات ذرات النحاس وذرات الأكسجين مهم، فهو يسمح بتعاطي المنشطات لمستويات  $\text{CuO}_2$  بعدد متغير من الثقوب، عبر آلية نقل الشحنة بين ذرات الأكسجين ومستويات خزان الشحن (الشكل 5.2). يتحكم عدد الثقوب المنقولة من طائرات خزان الشحن إلى طائرات  $\text{CuO}_2$  [18.17]، في الخواص الكهربائية لهذه المواد تزداد درجة الحرارة مع تعاطي المنشطات إلى أقصى حد في المنطقة غير المخدرة، وتبلغ ذروتها في

المنطقة، بما يقابل ما يسمى بـ "المنشطات المثلى"، ثم تنخفض إلى الصفر في المنطقة التي تعاني من زيادة في تعاطي المنشطات.

في المنطقة غير المخدرة وفوق خط TC (في المنطقة التي يكون فيها المركب في حالته الطبيعية)، يمكن تتبع خط جديد، يتوافق مع قمع (أو تجميد) الإثارات الإلكترونية منخفضة الطاقة.

### 2.2.2. المطعيمات ومخطط المرحلة:

اعتمادًا على عدد حاملات الشحنة في المستويات  $\text{CuO}_2$ ، فإن جميع الموصلات الفائقة ذات درجة الحرارة الحرجة المرتفعة (SHTC) القائمة على أكسيد النحاس لها مخطط طور (T، المنشيطات). تختلف الخصائص الإلكترونية من منطقة مغناطيسية مضادة إلى سائل فيرمي يمر عبر الموصلية الفائقة المنطقة. يظهر مخطط المرحلة هذا عدة مناطق. في حالة عدم وجود المطعيمات أو المطعيمات المنخفضة للغاية، وتحت درجة حرارة TN، يكون المركب عبارة عن عازل Mott بترتيب مغناطيسي مضاد للزيادة التدريجية في الثقوب في المستويات  $\text{CuO}_2$ ، مما يؤدي إلى الانتقال من المركب العازل المغناطيسي المضاد إلى مركب معدني حيث يتم فقد الترتيب المغناطيسي المضاد. من قيمة المطعيمات معينة، يصبح المركب موصلًا فائقًا.



شكل 3.2: مخطط الطور للنحاسيات [20]

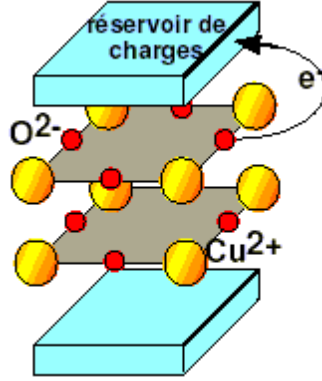
### 3.2.2. المنطقة المغناطيسية المضادة:

تُشتق الخواص المغناطيسية [21] للنحاس من الإلكترونات  $d$  للكاتيونات النحاسية لمستويات  $CuO_2$  ومن الطريقة التي يتم بها ترتيب ذرات النحاس والأكسجين في بنية البيروفسك. تشرح بعض الخصائص المحددة لمستوي  $CuO_2$  أصالة SHTC :

$9d_3-$  التكوين الإلكتروني لأيونات الانتقال  $Cu_2 +$  وتحديد مواضعها في مثنى الأوكسجين ؛ تحتوي هذه الأيونات على ثقب واحد في مدار مداري من النوع  $x_2-y_2$  ؛ تعزز القيمة المنخفضة  $1/2$  لدوران  $Cu_2 +$  تأثيرات التقلبات الكمية للدوران ؛

- تساهمية قوية جداً بين أيونات  $Cu_2 +$  وأيونات  $O_2-$  مرتبطة بهندسة الطائرات (يتم محاذاة أيونات  $Cu$  و  $O$  وفصلها بمقدار 1.9 درجة مئوية) وإلى حقيقة أن المستويات الإلكترونية للأوكسجين والنحاس هي الأكثر الأقارب. تتوافق هذه التساهمية مع التهجين بين مدار  $dx_2-y_2$  للنحاس والمدار  $p\sigma_2$  للأوكسجين

المجاور الذي يشير إلى محور Cu-O-Cu نقل الشحنة بين أيونات O<sub>2</sub> (كما هو موضح باللون الأحمر) وخزانات الشحن.



شكل 4.2: تمثيلات تخطيطية لمستويات CuO<sub>2</sub>[23,22]:

### 3.2. تأثير المطعيمات النحاسيات:

المطعيمات هي العملية الأكثر فاعلية لتعديل خصائص الموصلات الفائقة، وهناك طريقتان لتطعيم المركب: إما عن

طريق استبدال كاتيون بأخرى ذات تكافؤ مختلف كما في La<sub>2-x</sub>Sr<sub>x</sub>CuO<sub>4</sub>، حيث نستبدل La<sub>3</sub> + بـ

Bi<sub>2</sub>212 + Sr<sub>2</sub> [24] + inY<sub>1-y</sub>CayBa<sub>2</sub>CuO<sub>7-δ</sub> [25]، أو بإضافة أكسجين إضافي كما في

حيث، بعد التلدين المختلف تحت الأكسجين، يتم إدخال الأكسجين في الطائرات BiO. تُستخدم الطريقة

الأخيرة أيضاً في HgBa<sub>2</sub>CuO<sub>4+δ</sub> و TlBa<sub>2</sub>CuO<sub>6</sub> + La<sub>2</sub>CuO<sub>4+δ</sub>. في جميع الحالات،

فإن المنشطات تقابل نقل الشحنات من كتل الخزان نحو خطط CuO<sub>2</sub> [26] وهذه الآلية موضحة في

الشكل 2.5. يمكن قياس المنشطات بثلاث طرق:

القدرة الكهروحرارية عند 300 ك، والتي تتناقص خطياً كدالة لـ p، باستثناء حالة [27]LSCO ؛

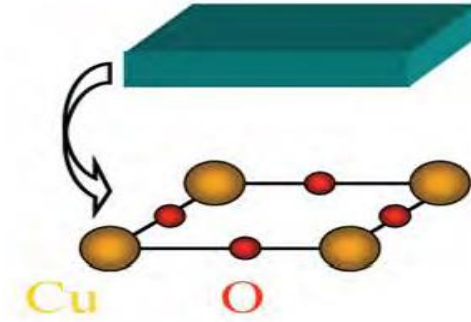
تأثير هول عند درجة حرارة منخفضة، أو بشكل أكثر تحديداً تأثير هول المعاد تطبيعته / RHeN

V حيث eN / V هو كثافة شحنة الحجم لكل ذرة نحاس [28] ؛



درجة الحرارة الحرجة  $T_C$ ، مع معرفة درجة الحرارة الحرجة عند المطعيمات المثلى، مع العلاقة:

$$\frac{T_C}{T_{max}} = 1 - 82.6(p - 0.16)^2$$



الشكل 5.2: تمثيل تخطيطي لمستويات  $CuO_2$  محاطة بخزان الشحن يجعل من الممكن تغيير الرقم من حاملات الشحنة داخل الكبريتات.

## 4.2. آثار التطعيم:

التطعيم:

- إحضار ثقب موجب أو إلكترون للموصل الفائق للأكسيد.
- تحسين تشكيل المرحلة المطلوبة.
- إنشاء مراكز محاصرة دوامة.
- يمكن أن تؤدي إضافة  $MgO$  إلى مرحلة  $Bi2223$  إلى تقليل حجم الحبوب عن طريق الحد من انتشار العناصر المختلفة [29].

يؤدي التطعيم بالمغنيز إلى خفض درجة حرارة الاندماج الجزئي

كما تم تحسين محاصرة الإلكترونات.

تعمل إضافة الفضة في مسحوق طور  $Bi2223$  على تحسين التشكل عن طريق القضاء.  $Ag$  لا يدمر

الموصلية الفائقة، بل يمكن أن يحسنها بالإضافة إلى ذلك، يبدو أن هذا العنصر يحسن الموصلية الفائقة بعد

انتشارها بين الحبيبات، فالحديد يدمر بسرعة الموصلية الفائقة عن طريق الاستبدال في مواقع النحاس البلورية، حالة التكافؤ المختلطة للنحاس الضرورية للمظهر من الموصلية الفائقة في النحاسات، يمكن الحصول عليها من خلال اللعب بالبدائل الموجبة أو تعديل شبكة الأنيون، وتتكون الطريقة الأخيرة من استبدال الأكسجين بعناصر أحادية التكافؤ مثل الهالوجينات على سبيل المثال أو إدخال هذه الفراغات، وقد ثبت أن إدخال الزنك يمكن أن يولد في مستويات  $\text{CuO}_2$  لحظات مناطق مغناطيسية وبالتالي لم يعد من الممكن اعتبار شوائب الزنك شوائب غير مغناطيسية.

## 5.2. تقنيات التشخيص:

لتحديد البنية، تشكلت المراحل المختلفة والاختلاف المورفولوجي للبنية المجهرية أثناء المعالجات الحرارية، استخدمنا التقنيات التالية للتشخيص:

حيود الأشعة السينية (DRX) وتحديد الشبكة باستخدام softwareDicVol04 ؛

المسح المجهر الإلكتروني (MEB) و EDX

استخدمنا التحليل الطيفي المرئي للأشعة فوق البنفسجية

### 1.5.2. حيود الأشعة السينية (DRX) :

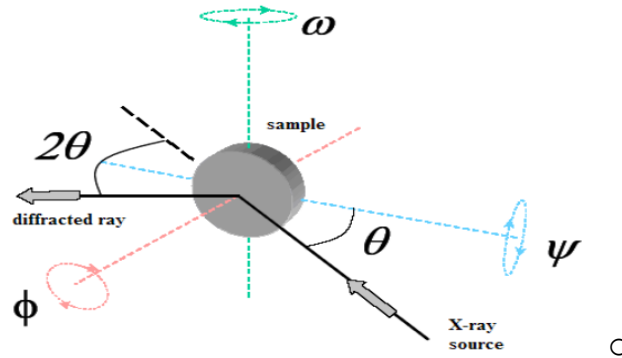
حيود مسحوق الأشعة السينية (DRX) هو تقنية تحليلية سريعة تستخدم بشكل أساسي لتحديد المرحلة لمادة بلورية ويمكن أن توفر معلومات عن أبعاد خلية الوحدة. يتم طحن المواد التي تم تحليلها بشكل جيد، وتجانسها، ويتم تحديد تكوين الكتلة المتوسطة.

### 2.5.2 المبادئ الأساسية لانحراف مسحوق الأشعة السينية (DRX) :

اكتشف ماكس فون لاو، في عام 1912، أن المواد البلورية تعمل بمثابة حواجز ثلاثية الأبعاد لأطوال موجات الأشعة السينية المشابهة للتباعد بين المستويات في الشبكة البلورية. حيود الأشعة السينية هو الآن تقنية شائعة لدراسة البنية البلورية والتباعد الذري. يعتمد حيود الأشعة السينية على التداخل البناء أحادي اللون للأشعة السينية وعينة بلورية. يتم إنشاء هذه الأشعة السينية بواسطة أنبوب أشعة الكاثود، ويتم ترشيحها لإنتاج إشعاع أحادي اللون، وتوازيها للتركيز، وتوجيهها نحو العينة. ينتج عن تفاعل الأشعة الساقطة مع العينة تداخلاً بناءً (وشعاعاً منحرفاً) عندما تفي الظروف بقانون براغ ( $n\lambda = 2d \sin \theta$ ). يربط هذا القانون الطول الموجي للإشعاع الكهرومغناطيسي بزاوية الانعراج والتباعد الشبكي في عينة بلورية. ثم يتم الكشف عن هذه الأشعة السينية المنعرجة ومعالجتها وحسابها. عن طريق مسح العينة من خلال مجموعة من  $2\theta$ ، يجب الوصول إلى جميع اتجاهات الانعراج الممكنة للشبكة بسبب الاتجاه العشوائي للمادة المسحوقة. يسمح تحويل قمم الحيود إلى مسافات  $d$  بالتعرف على المعدن لأن كل معدن يحتوي على مجموعة فريدة من المبعاد  $d$ . عادة، يتم تحقيق ذلك من خلال مقارنة المبعاد  $d$  مع الأنماط المرجعية القياسية. تم اكتشاف الأشعة السينية بواسطة Wilhelm Conrad Röntgen في Würzburg، ألمانيا. في 8 نوفمبر 1895، أجرى تجارب بما في ذلك أنابيب كروكس، والتي تستخدم عادة لتصوير تدفقات الإلكترونات [2]. تنتمي الأشعة السينية إلى مجموعة الأشعة الكهرومغناطيسية، وبالتالي فهي تتبع قواعد الإشعاع الكهرومغناطيسي. ينقل الإشعاع الكهرومغناطيسي الطاقة، وتسمى أيضًا الطاقة المشعة [2]. يمكن تمثيله بالفوتونات أو بنموذج الموجة. يمكن أيضًا تمثيل الطول الموجي بالتردد  $f_p$  وسرعة انتشار الموجات،  $i.e.$  سرعة الضوء  $c_0$ .

حيود الأشعة السينية عبارة عن تقنية متعددة الوظائف تُستخدم لتحديد المراحل البلورية للمادة ولتحليل الخصائص البنيوية.

- يتم إنتاج الأشعة السينية في أنبوب الأشعة السينية.
- يتم تعديل توزيع الطاقة للفوتونات عن طريق الترشيح المتأصل والإضافي.
- يتم إضعاف الأشعة السينية بشكل مختلف بواسطة أنسجة الجسم المختلفة.
- يتم تقليل الإشعاع المتناثر الذي يضعف تباين الصورة.
- يتم الكشف عن الفوتونات المرسله.
- تتم معالجة الصورة وإعادة بنائها في حالة التصوير المقطعي المحوسب.



الشكل 6.2: هندسة قياس حيود الأشعة السينية.

في عملنا، ومن أجل توصيف عيناتنا، استخدمنا مقياس حيود من نوع Bruker D8 Advanced باستخدام الأشعة السينية القادمة من انبعاث  $K \alpha$  للنحاس بطول  $\lambda = 1.5402 \text{ \AA}$  كما هو موضح في

الشكل 2.7.

### 3.5.2. برنامج جانا: يستعمل في :

- علم البلورات

- تحليل كمي

- الملمس والضغط المتبقية

- الانعكاسية، أنظمة الطبقات

- المجهرية

❖ واجهة سهلة الاستخدام بما في ذلك:

- معالج للتحليلات التلقائية

❖ الاتصال بقواعد البيانات واستخدام صيغة CIF

❖ القدرة على اقتراح القياسات وقيادتها محليًا أو عن بُعد

❖ إمكانية التشغيل:

- مضمن في متصفح عبر الإنترنت

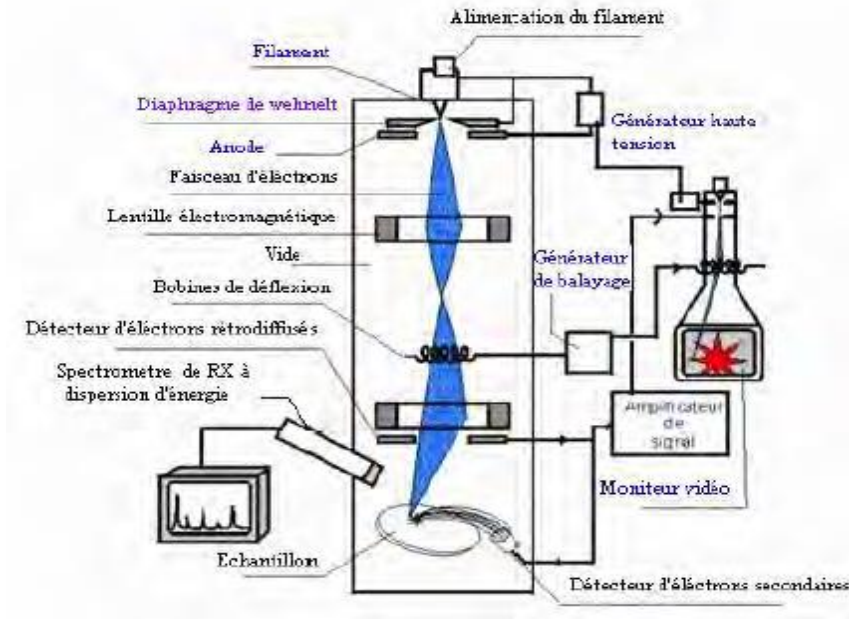
- محليًا كتطبيق

- على كل منصة

❖ هيكل إضافي لتوسيع بعض الميزات بسهولة

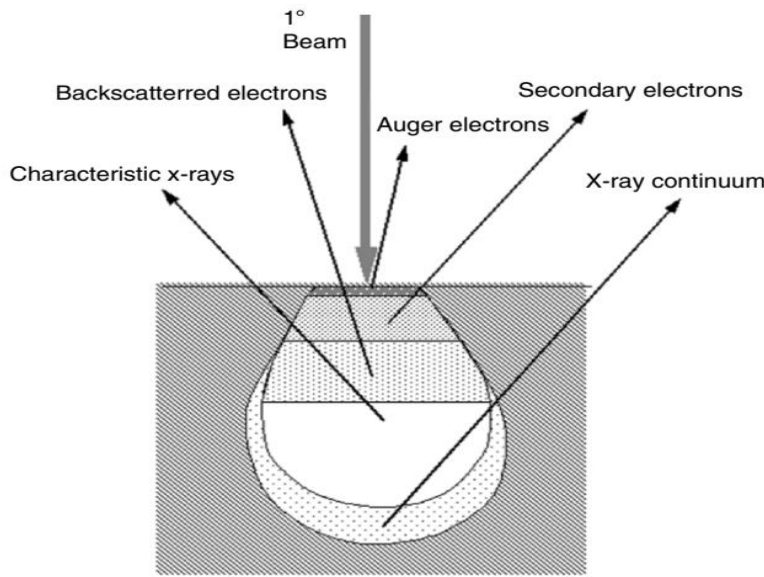
## 4.5.2. المسح المجهر الإلكتروني (MEB):

مسح صور المجهر الإلكتروني يعطي معلومات حول التصوير المقطعي والتشكيل والتكوين والمعلومات البلورية للعينة. السمات السطحية لجسم ما أو "كيف يبدو"، وشكل وحجم وترتيب الجزيئات التي تتكون منها الجسم التي تكون ملقاة على سطح العينة أو تعرضت للطحن أو الحفر الكيميائي؛ العناصر والمركبات تتكون العينة من ونسبها النسبية، ترتيب الذرات في العينة ودرجة ترتيبها؛ مفيدة فقط على الجسيمات أحادية البلورة. من خلال تفاعلات عينة الحزمة الإلكترونية، والمنتجات الثانوية مثل الإلكترونات الثانوية، والإلكترونات المبعثرة، والأشعة السينية سوف تتشكل الحرارة والضوء، حيث تقوم أجهزة الكشف بجمع الإلكترونات المبعثرة والإلكترونات الثانوية وتحويلها إلى إشارة يتم إرسالها إلى الشاشة حيث يتم تكوين الصورة [3].



الشكل 7.2 : مبدأ تشغيل المجهر الإلكتروني الماسح.

إن MEB المستخدم من النوع JEOL من العلامة التجارية JSM-6390-LV والمزود بالطباعة الحجرية بشعاع الإلكترون (Raith ELPHY Quantum) موجود في CRAPC- Ouargla. يسمح بتصوير الحالة الحبيبية، وعندما يكون الأمر كذلك، تبلور العينات. التحليل الذي يتم هو تحليل السطح. لا يمكن إجراء تحليل الطبقات العميقة إلا بعد تعديل العينة بهجوم كيميائي أو قطع. لقد استخدمنا تكبيرات من 1000 و 5000 والتي تكشف بوضوح عن خصائص النسيج لكل عينة متعددة البلورات تمت ملاحظتها وتم إجراء الملاحظات في درجة حرارة الغرفة. يتبع شعاع الإلكترون مساراً رأسياً عبر المجهر، في الفراغ. ينتقل الشعاع عبر المجالات الكهرومغناطيسية والعدسات، والتي تركز الشعاع على أسفل العينة. بمجرد أن تصل الحزمة إلى عينة الإلكترونات سوف تنتشر خلال العينة داخل منطقة محددة تسمى حجم التفاعل. يمكن تقسيم هذه التفاعلات إلى فئتين رئيسيتين: التفاعلات المرنة والتفاعلات غير المرنة.



الشكل 8.2: التفاعل بين الحزمة الإلكترونية و سطح العينة [8].

تبعث الجسيمات الثلاثة أنواع من الجسيمات المنبعثة:

- ❖ جهاز المسح الضوئي للإلكترون: هو إلكترونات تمزقت من الطبقات الداخلية لذرات الإلكترون بفعل تفاعل الإشعاع المطبق، بالإضافة إلى حوادث الإلكترونات التي تغير الاتجاه وهي طاقة.
- ❖ الإلكترونات المبعثرة للخلف: هي إلكترونات ساقطة تغير اتجاهها دون تغيير في الطاقة بعد التفاعل.
- ❖ إلكترونات أوجيه: وهي من الإلكترونات التي تُسهم على الأريكة الخارجية لذرات العينة عن طريق امتصاص الأشعة السينية الفلورية لنفس الذرة.

### 5.5.2. التحليل الدقيق الإلكتروني:

يسمح التحليل المجهرى بالأشعة السينية بالتحليل الأولي عن طريق الكشف عن الخطوط السينية المميزة للعناصر الموجودة، ويسمح بتحليلات لمرة واحدة بدقة مكانية بترتيب 1 ميكرومتر 3، وهناك طريقتان للتحليل الدقيق X:

✓ مطياف تشتت الطول الموجي (أو WDS: قياس الطيف التشتت لطول الموجة)

---

✓ تم اقتراح تحديد العناصر المكونة للعينة المستهدفة، من طيف الانبعاث  $X$  الخاص بهم، في عام

1913 من قبل هنري موسلي الذي وجد أن تردد الخطوط المميزة المنبعثة كان دالة على العدد الذري

للعنصر المنبعث.

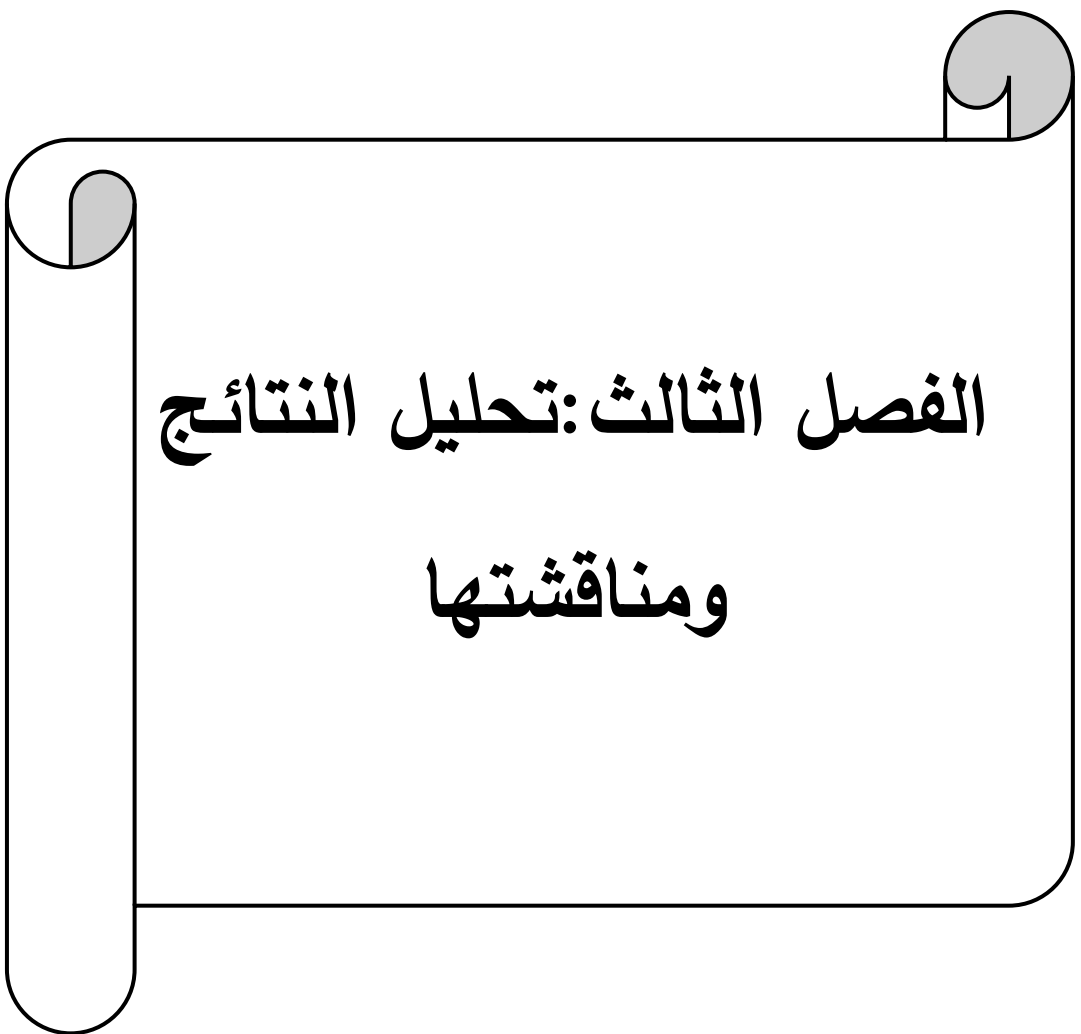


## مراجع الفصل الثاني:

- [1]. NAVARRETE, L.R.O., INSTITUT POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE, 2009.
- [2]. بيرجر، إم، كيو يانج، وماير، التصوير بالأشعة السينية. نظم التصوير الطبي، 2018: ص. 119-145.
- [3]. E. and F. Pattini, Gilioli. نمو أغشية الأكسيد الرقيقة لأجهزة الطاقة بواسطة ترسيب الإلكترون النبضي.
- [4]. Y. and S. Kawata, Ozaki. التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية البعيدة والعميقة. Springer:2015.
- [5]. كوتش، إم، وإي كارابوداك، تاريخ التحليل الطيفي والتحليل الطيفي الحديث الذي يستخدم لمرة واحدة Si ATR-IR. مراجعات التحليل الطيفي التطبيقي، 2018. 53 (5): ص. 420-438.
- [6]. T, Hasegawa. التحليل الطيفي الكمي للأشعة تحت الحمراء لفهم مادة مكثفة. Springer:2017.
- [7]. شيب، دي دبليو، إف سينجاب، وإي نوتينغير، مطياف رامان: تقنيات وتطبيقات في علوم الحياة. التطورات في البصريات والضوئيات، 2017. 9 (2): ص. 315-428.
- [8]. W, Zhou. وآخرون، أساسيات المسح المجهر الإلكتروني (SEM)، في الفحص المجهرية الماسح لتقنية النانو 2006، Springer. ص. 1-40.
- [9]. T. P. Sheahen. «مقدمة في الموصلية الفائقة في درجات الحرارة العالية» ص 149 - 150، محرران. حانة كلوير الأكاديمية (1994).
- [10]. دانيال شنايدر، "This de doctorat"، المعهد الفدرالي السويسري للتكنولوجيا، زيورخ، (2000).

- [11]. Thomas Frello، "الخصائص الهيكلية والموصلية الفائقة للموصلات الفائقة عالية Tc"، مختبر Risø الوطني، روسكيلد، (EN، Risø-R-1086)، الدنمارك، يناير (2000).
- [12]. إس تشو، مايكل إي ماكهنري، جيه ماتر. الدقة 13، 595-589 (1998).
- [13]. T. J Lee و C. F Huang و C. C Teo و T. S Khor و H. C Ku و K. W Yeh و Y. Huang و H. H Hung و Kiwako Sakabe و Noriyoshi Sakabe، (2000) 261-38243 لمجلة الصينية للفيزياء،
- [14]. كوفاليفا، إيه في بريس، T. القس ب، 69، 054511 (2004).
- [15]. Andrés Felipe Santander-Syro، «الهيكل الإلكتروني للكوبرات فائقة التوصيل، Surdopés: étude par Spectroscopie infrarouge et par ARPES» Laboratoire de Physique des سوليدس UMR 8502، أورساي.
- [16]. Bruno Pignon، «Thèse pour obtenir le gradeur de l'université de tours»، جامعة الجولات، (2005).
- [17]. فيليب بورجيه، "Thèse de doctorat"، جامعة باريس سود سنتر دورسيه، (2003).
- [18]. جوليان بوبروف، «Thèse de doctorat»، جامعة باريس الجنوبية، UFR. العلم
- [19]. روبرت شريففر وجيمس س. بروكس، "دليل نظرية الموصلية الفائقة ودرجة الحرارة العالية"، الصفحات 347-348، سبرينغر، (2007). (d'Orsay، 1997).
- [20]. W. Guyard، "Rapport de pré thèse"، Université Denis Diderot، Paris VII، (2005).
- [21]. جوليان بوبروف، «Spécialité Sciences Physiques، Recherches»، جامعة باريس سنترتأهيل د أورسيه، (2004).
- [22]. فيليب بورجيه، "Thèse de doctorat"، جامعة باريس سود سنتر دورسيه، (2003).
- [23]. توماس أ. ماير، «دور شوائب الزنك في الموصلات الفائقة لارتفاع درجة الحرارة»، ملصق، جامعة سينسيناتي (2002).

- [24]. دي تي فيريبيلي، سي دبليو شنايدر، واي كي كو، إم جي سكوف، جي إكس تيسيمما، جي إي باين، فيزيكا (1999، C328، 53-59).
- [25]. YK Koo، CW Schneider، MJ Skove، M.V.Nevitt et GX Tessema، Phy.Rev.B 56، 6201-6205 (1997).
- [26]. <http://x.lanl.gov/pdf/cond-mat/9902355> (1999).
- [27]. شاكرفارتي "الموصلية الفائقة لدرجات الحرارة العالية"، أديسون ويسلي، ريدينغ، ماساتشوستس، ص. 136 (1990).
- [28]. MWHooker et L.Martin، «تحضير وخصائص Tc العالي، Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O الموصلات الفائقة ذات الأغشية السميكة على ركائز YSZ» تقرير مقال وكالة ناسا رقم 4761، الهندسة & شركة العلوم، هامبتون، فيرجينيا، (1996).
- [29]. عضو الكنيست يو، جي بي فرانك، فيز ريف بي 48، 939-944 (1993).
- [30]. لوكا لوتيروتي، مود: برنامج تحليل ريتفيلد مُصمم للإنترنت والتكامل التجريبي، قسم علم البلورات Acta Crystallographica A، أسس علم البلورات، أغسطس 2000.



**الفصل الثالث: تحليل النتائج  
ومناقشتها**

اعتماداً على التطبيق المطلوب (كهربائي، مغناطيسي)، هناك عدد كبير من الطرق لإنتاج أكاسيد وظيفية متعددة الكريستالات، إما في شكل مساحيق، إما من السيراميك المضغوط، أو طبقات رقيقة أو سميكة. استخدمنا الحالة الصلبة. طريقة التفاعل لدراسة عيناتنا، وتتكون هذه الطريقة من خلط مساحيق الأكاسيد أو الكربونات من الكاتيونات المكونة للسيراميك وفي تفاعلها بالمعالجة الحرارية، ربما على عدة مراحل، مع الطحن الوسيط، وتتميز هذه الطريقة بالبساطة وتسمح، مع بعض الاحتياطات الأساسية، والتحكم الجيد في قياس العناصر الموجبة الموجبة، كما أنه يعطي نتائج ممتازة لبعض الموصلات الفائقة، على سبيل المثال  $YBa_2Cu_3O_7$  - . في جميع الحالات، الهدف من طريقة معينة هو التحكم في أحجام البلورات والأسطح المحددة وحدود الحبوب من أجل تحديد أفضل خصائص التوصيل الفائقة. في هذا الفصل، نقدم النتائج التي تم الحصول عليها من خلال تقنيات التوصيف المختلفة. تم إجراء الدراسة المجهرية باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (MEB). تم إجراء الخصائص البصرية باستخدام التحليل الطيفي للأشعة فوق البنفسجية المرئية.

### 3- عناصر التطعيم:

التطعيم هو الطريقة الأكثر فعالية لفهم الآلية المسؤولة عن ظهور الموصلية الفائقة. في كثير من الأحيان، يتم استخدام تأثير الشوائب على الموصلات الفائقة كمسبار فعال لخصائصها الفيزيائية. لذلك فإن استخدام البدائل هو أحد المفاتيح لفهم الموصلية الفائقة. ومع ذلك، فإن تأثير هذه البدائل على درجة الحرارة الحرجة يمكن أن لا يكون مرتبطاً بتأثيرها على الخصائص الأخرى للمادة. بشكل عام، الاستبدال بالذرات، ذات التكافؤ المختلف أو نصف القطر الذري، ينتج عنه تعديل في المنشطات، وهيكل في البيئة المباشرة للموقع المستبدل.

الجدول 3.1: عناصر التطعيم.

الدويان	نقطة الانصهار	كثافة	الكتلة المولية	صيغة كيميائية	تعريف	مُجَمَّع
غير منحل	1566°C	5.24 g/cm <sup>3</sup>	159.70 g/mol	<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	أكسيد الحديد الثلاثي هو مركب كيميائي له الصيغة Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ، يكون على شكل مسحوق بلوري بني محمر. وهو المكون الاساسي للصدأ.	اكسيد الحديد الثلاثي

1.3 مصفوفة الأساس Bi<sub>2</sub>212:

من أجل الحصول على Bi<sub>2</sub>212، يلزم وجود تفاعل صلب - صلب بين المركبات الموصوفة في الجدول

التالي (الجدول 3.2) في ظل ظروف قياس الأحجار. يمر تشكيل Bi<sub>2</sub>212 من خلال للمعادلة التالية:



المختلفة حول المركبات التفاعلية في الجدول

الجدول 2.3: معلومات مختلفة عن المركبات التفاعلية.

مُجمِّع	التعريف	الصيغة الكيميائية	الكتلة المولية	كثافة	نقطة الانصهار	الذوبان
أكسيد البزموت	أكسيد البزموت (III) هو مركب غير عضوي من البزموت والأكسجين، مع الصيغة $\text{Bi}_2\text{O}_3$ واللون الأصفر. يمكن القول إن أهم مركب بزموت صناعيًا، غالبًا ما يكون نقطة انطلاق لكيمياء البزموت.	$\text{Bi}_2\text{O}_3$	465.96 g/mol	8.9 g/cm <sup>3</sup>	817 °C	غير قابل للذوبان في الماء؛ قابل للذوبان في وسط حمضي
كربونات السترونشيوم	كربونات السترونشيوم هي ملح كربونات السترونشيوم. يأتي في شكل مسحوق أبيض عديم الرائحة إلى رمادي. إنه موجود بشكل طبيعي في شكل معدن السترونتيانيت	$\text{SrCO}_3$	147.63 g/mol	3.5 g/cm <sup>3</sup>	1497 °C	0.01 جم / لتر (ماء، 20 درجة مئوية)

14 ملغ / هناك 20 درجة مئوية ؛ صفر؛ 0.013 جم / لتر (عند 25 درجة مئوية).	825 °C	2.71g/ cm <sup>3</sup>	100.0869 g / mol	<b>CaCO<sub>3</sub></b>	تتكون كربونات الكالسيوم من أيونات الكربونات وأيونات الكالسيوم ذات اللون الأبيض. إنه المركب الرئيسي للحجر الجيري مثل الطباشير وكذلك الرخام.	كربونات الكالسيوم
في الماء عند درجة صفر	825 °C	6,315 g/cm <sup>3</sup>	79,545 g/mol	<b>CuO</b>	أكسيد النحاس مركب من النحاس والأكسجين، مع الصيغة CuO. وهي مادة صلبة سوداء ذات بنية أيونية، تذوب عند حوالي 1200 درجة مئوية عن طريق إطلاق بعض الأكسجين. يوجد أكسيد النحاس بشكل طبيعي: التينوريت.	أكسيد النحاس

### 2.3. إجراءات تحضير العينة:

#### 1.2.3. التفاعل الصلب - الصلب:

هذه الطريقة، هي أساس تعدين المساحيق، وتتكون من تفاعل مرحلتين أو عدة مراحل عند درجة حرارة عالية (عملية تسمى غالبًا التليد)، بعد العديد من عمليات الطحن. هي الطريقة المستخدمة في هذا العمل لتحضير مساحيق المطعمة من طور Bi2212، وتتكون الخطوة الأولى من وزن المنتجات الأساسية التالية: (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، CuO، CaCO<sub>3</sub>، SrCO<sub>3</sub>، Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، ثم مزجها للحصول على مقاييس العناصر المتكافئة ل التركيبات المختلفة (انظر الشكل 3.1) كما هو معروض في الجداول 2.1.





$\text{Bi}_2\text{O}_3$

$\text{SrCO}_3$

$\text{Fe}_2\text{O}_3$



$\text{CuO}\text{CaCO}_3$

الشكل 1.3: استخدام البودرات المختلفة في التفاعل الصلب والصلب

الجدول 3.3: كميات المنتجات الأساسية المستخدمة.

النسب	$\text{Bi}_2\text{O}_3$	$\text{SrCO}_3$	$\text{CaCO}_3$	$\text{CuO}$
M (g/mol)	465,957	147,628	100,988	79,545
m (g)	2,0980	0.8309	0.5683	0.4477

الجدول 4.3: كميات Fe المستخدمة.

$$m_{\text{Fe}10\%} = 5 \times 10 / 100 = 0.5 \text{ g}$$

Fe%	10%	20%	30%

m(g)	0.5	1	15
------	-----	---	----

### 2.2.3. الخلط والطحن:

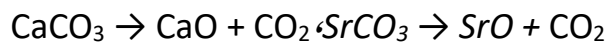
يتم خلط المنتجات المختلفة: ( $\text{FeO}$  أو  $\text{CuO}$ ،  $\text{CaCO}_3$ ،  $\text{SrCO}_3$ ،  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ )، ثم يتم طحن الخليط حتى يتم الحصول على مسحوق متجانس. أثناء تحضير عيناتنا، سيتم تكرار الطحن عدة مرات من أجل الحصول على توزيع موحد للمنتجات المستخدمة حيث يعطى لون المسحوق بعد التجانس لون رمادي فاتح، كما نلاحظ الهاون الذي استخدم في طحن المواد الشكل 2.3.



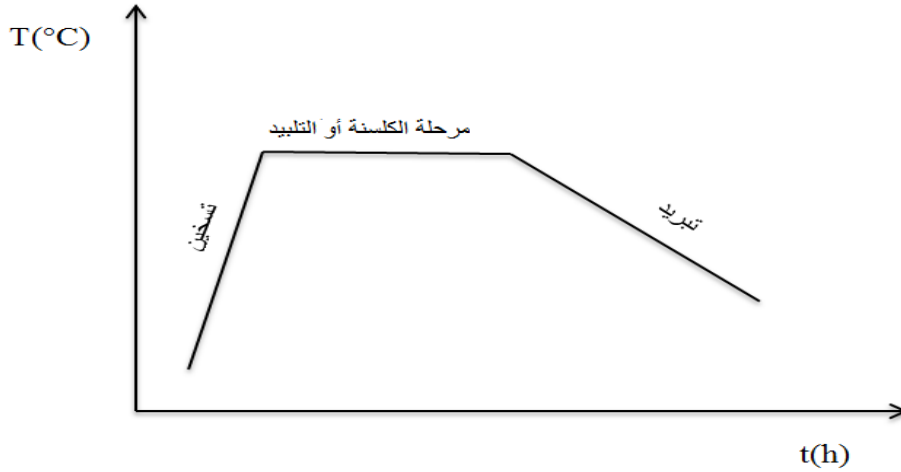
الشكل 2.3: هاون المستعمل في التجربة.

### 3.2.3. الكلسنة:

الغرض من هذه العملية هو تحويل خليط المسحوق إلى تركيبة وبنية بلورية محددة جيداً، وهي تتكون من تسخين خليط منتجات البدء عند درجات حرارة عالية دون الوصول إلى حالة الانصهار، علاوة على ذلك خلال هذه الخطوة تتم إزالة كربونات الخليط في شكل إطلاق ثاني أكسيد الكربون. تتحلل الكربونات وفقاً للتفاعلات التالية:



بالإضافة إلى ذلك، يتم إنتاج التفاعل بين المكونات المختلفة جزئيًا أو كليًا أثناء الكلسنة؛ يتم بعد ذلك تكوين الاقراص من البلورات الصغيرة، وهو أمر مناسب جدًا للخطوة الثانية من التلييد.



الشكل 3.3: البرنامج الحراري لدورة الكلسنة.

### 4.2.3. التشكيل:

بعد الكلسنة، سيتم طحن العينات مرة أخرى ثم ضغطها مرة أخرى باستخدام مكبس هيدروستاتيكي للحصول على كريات أسطوانية بقطر حوالي 13 مم وسمك 1 إلى 5 مم. هذا يجعل من الممكن تقريب الحبوب من المراحل المختلفة وبالتالي سيسمح بزيادة في جزء المرحلة المطلوبة.



الشكل (4.3): القالب المستعمل في التجربة.

### 5.2.3. التلييد:

التلييد هو معالجة حرارية يتم إجراؤها عند درجة حرارة أقل من نقطة اندماج المكون الرئيسي للمادة التي تسمح بتوليد روابط قوية بين الجسيمات عن طريق انتشار المادة. في معظم الحالات، يكون التلييد مصحوبًا بانكماش (تقليل أبعاد الجزء) وبالتالي تكثيف (تقليل حجم الفراغ). تتضمن دورة التلييد بشكل عام فترة تسخين عند درجة حرارة التلييد، ثم فترة متساوية الحرارة وأخيرًا التبريد. هناك يجب التحكم في سرعة التسخين لمنع التشقق، وخاصة في مواد السيراميك. يسمح المحمل متساوي الحرارة بنمو الروابط بين المفصل وتكثيف المادة وأحيانًا يؤدي إلى تضخيم الحبوب [1]. الكلسنة إذن تتوافق مع نقل المادة، والذي يحدث عن طريق انتشار الذرات في المادة الصلبة.

له ثلاثة تأثيرات:

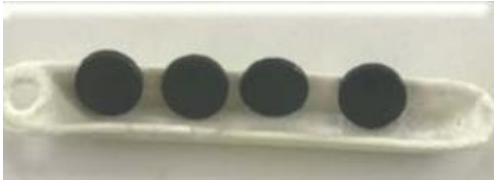
❖ توحيد المواد

❖ التكثيف بتقليل المسامية

❖ نمو الحبيبات

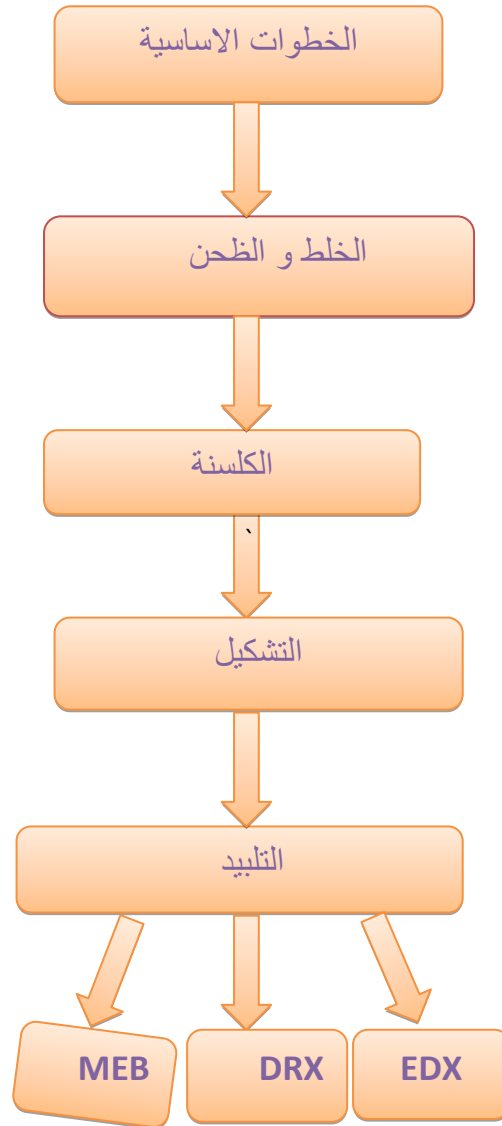
❖ تم إجراء تلييد عيناتنا عند 820 درجة مئوية لمدة 12 ساعة و 840 درجة مئوية لمدة 24 ساعة..

أخيرًا، يتم تقديم الحبيبات التمهيدية في الشكل 5.3



الشكل 5.3: تم الحصول على الحبيبات النهائية

رسم تخطيطي يوضح الخطوات الاساسية لتحضير العينة الشكل (6.3):

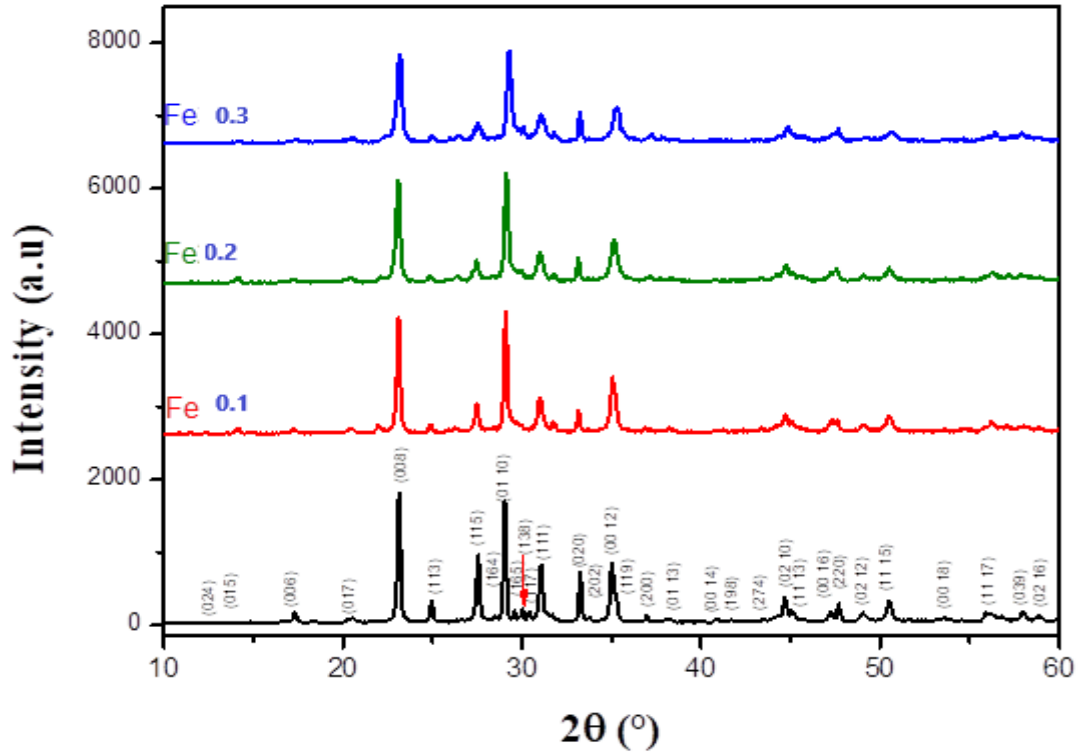


الشكل 6.3: عملية تحضير العينة.

### 3.3 تقنيات التشخيص:

#### 3.3.1 حيود الأشعة السينية (DRX):

يوضح الشكل (7.3) اطياف DRX للمركب  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{8+\delta}$  المطعم (7.3) بال ( $x=0,0.1,0.2,0.3$ )  $(\text{Fe}_2\text{O}_3)$  حيث استخدمت تقنية الأشعة السينية لدراسة الخصائص البنيوية للمركب حيث تم تحضيرها في درجة حرارة  $820^\circ\text{C}$  لمدة 24 ساعة بهدف تحديد الأطوار المتواجدة في العينة وتحديد الثوابت ( $\alpha, \beta, \gamma, a, b, c, q$ )، حيث  $q$  هو شعاع التموج، كما استعملنا برنامج Highscoreplus للتعرف على الأطوار المتواجدة وقمنا بتحسين الثوابت المتحصل عليها ببرنامج Jana2006، كما هو موضح في الشكل (7.3).

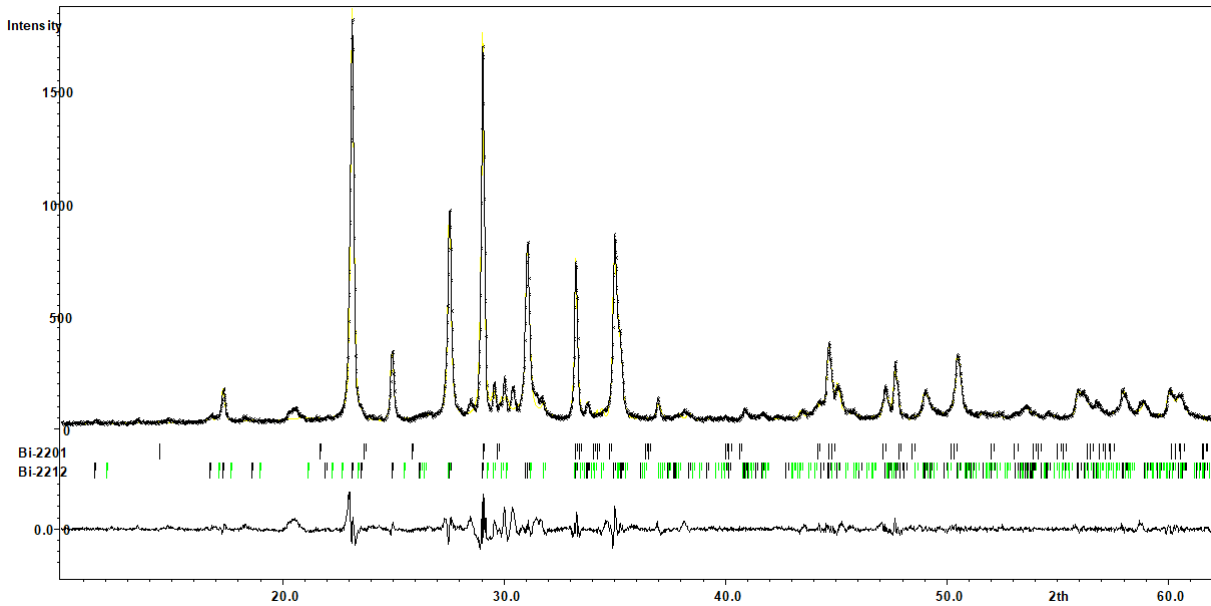


الشكل 7.3: يمثل طيف الحيود الاشعة السينية لمرحلة التليد Fe0.3- Fe0.2- Fe0.1-Fe0.0 . نلاحظ ان من أطراف إنعراج حيود الاشعة السينية للعينات الاربعة (Fe03،Fe02،Fe01،Fe00)، ان عملية الحصول على الطور Bi(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-2212 قد نجحت ودلالة على ذلك وجود الطور Bi-2212 بكثرة في اطراف حيود الاشعة السينية الموضحة في الشكل (7.3)، مع تسجيل ظهور اطوار شائبة طورين في النظام المعيني Bi-2201 وطور في النظام المكعب CaO بنسب متفاوتة أي نسبة ظهور الطور المعيني غالب على نسبة الطور المكعب في العينة الغير مطعمة، وهذا كله يدلنا الى نتيجة مهمة ألا وهي الحصول على الطور Bi-2212 بعد مرحلة التليد في زمن قصير في تفاعل صلب-صلب مقارنة بالزمن الذي قد تستغرقه طرق تحضير اخرى خاصة في الحالة التي ندرسها، وهذا يعني ان التطعيم بالحديد قام بتنشيط عملية الحصول على الطور Bi-2212 مع عدم ضياع في الطاقة وزمن قصير.

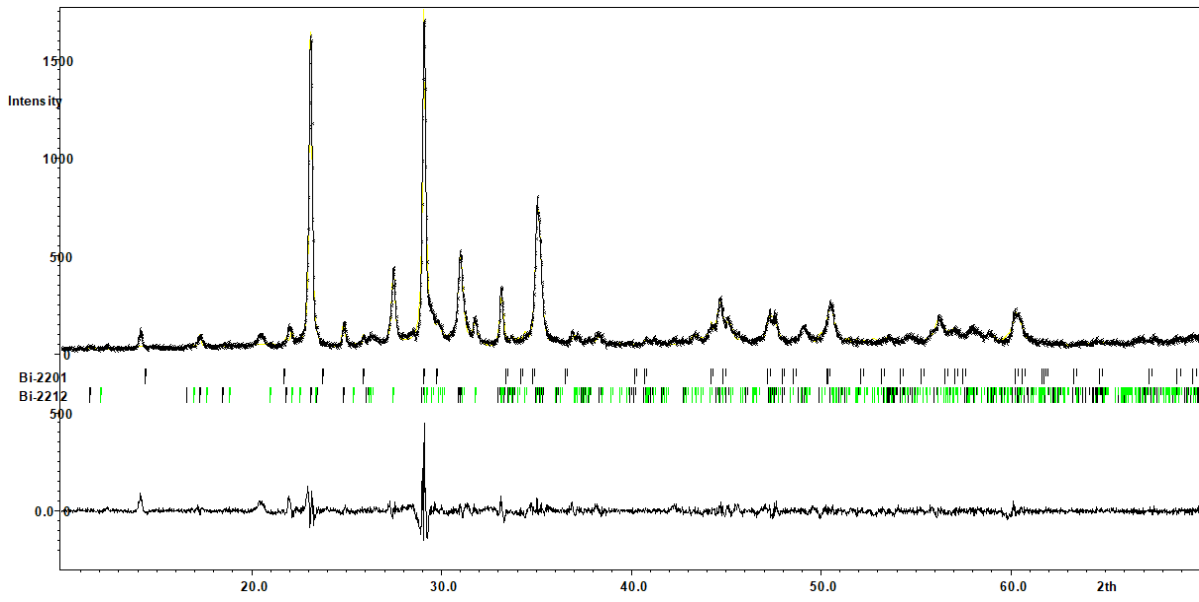
#### 4.3.1. نتائج التحسين:



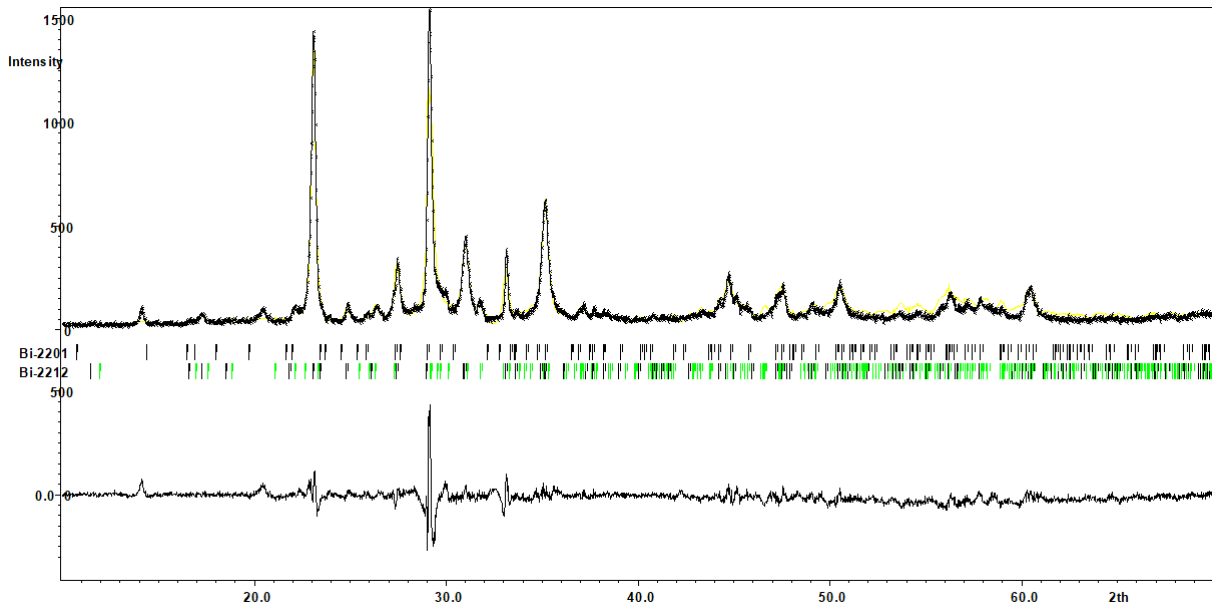
ان الهدف من استخدام التحسين للنتائج المتحصل عليها هو اعطاء قيم دقيقة وقريبة جدا لثوابت الشبكة البلورية وشعاع التموح q الاصلية للعينة المدروسة، ومن اجل التحصل على هذه النتائج تم استعمال البرنامج Jana2006 والذي يعتمد بدوره إعطاء اقرب طيف إنعراج للعينة المدروسة وذلك عن طريق إدخال قيم قريبة من قيم العينة، حيث تحدث مقارنة بين طيف التجريبي والأطياف الموجودة في قاعدة البرنامج Highscoreplus مع إدخال قيم الاطوار الشائبة. تم الحصول على نتائج ثوابت الشبكة الحسنة (a,b,c) وشعاع التموح q عن طريق الدالة Pseudo-Voigt حيث يصف لنا شكل القيم المتحصل عليها في طيف إنعراج الاشعة السينية كما هو مبين في الاشكال (8.3) (9.3) (10.3) (11.3).



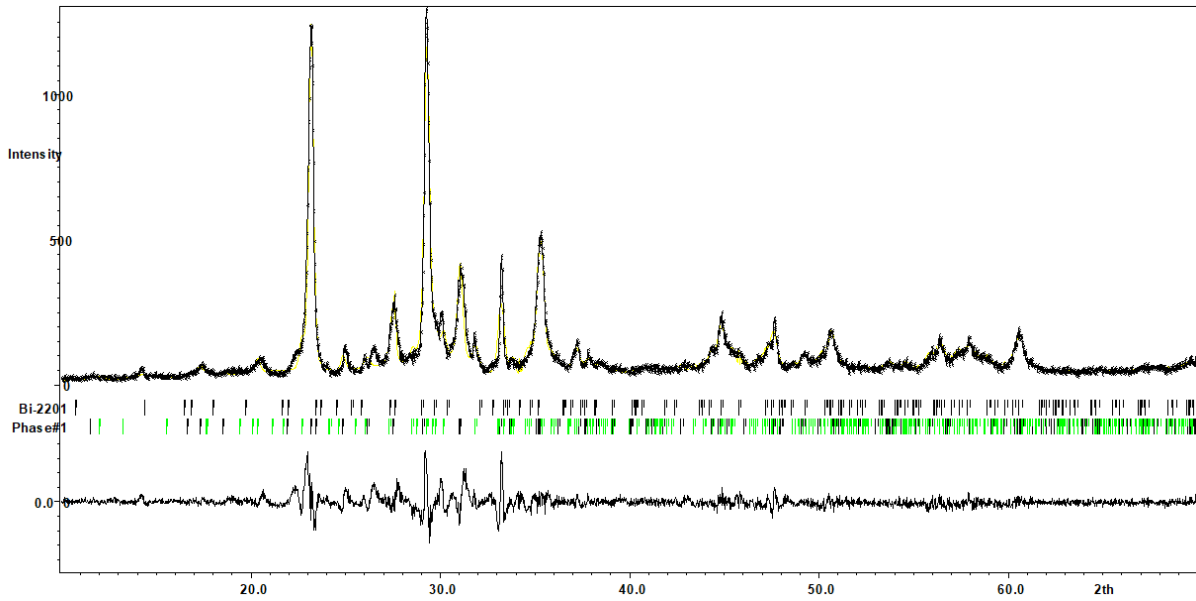
الشكل 8.3: مظهر التحسين للعينة Fe 00



الشكل 9.3: مظهر التحسين للعيينة Fe 01



الشكل 10.3: مظهر التحسين للعيينة Fe 02.



الشكل (11.3): مظهر التحسين للعيينة Fe 03.

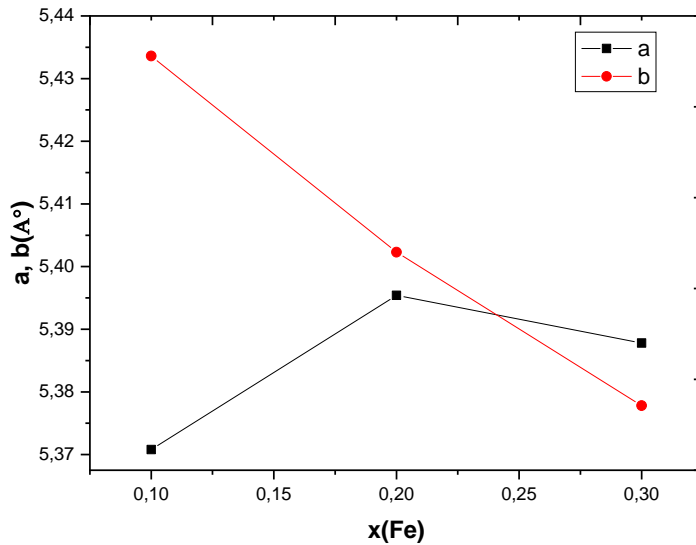
يلخص الجدول (6.3) القيم المحسنة لثوابت الشبكة البلورية وشعاع التموج وحجم الحبيبات لكل عينة من العينات المدروسة.

الجدول (6.3): القيم المحسنة لثوابت الشبكة البلورية للعينات المحضرة.

$q$	$c$	$b$	$A$	العينة
0.2180 (4)	30.7652(25)	5.3928(6)	5.3972(5)	Fe00
GOF=1.33	Rp=9.29	D( $\mu$ m)=5.2	R <sub>wp</sub> =13.20	معاملات التحسين
0.2227 (4)	30.7568 (25)	5.4336 (6)	5.3708 (7)	Fe01
GOF=1.59	Rp=12.42	D( $\mu$ m)=5.3	R <sub>wp</sub> =16.26	معاملات التحسين

<b>0.2074 (4)</b>	<b>30.8021 (24)</b>	<b>5.4023 (4)</b>	<b>5.3954 (3)</b>	<b>FeO2</b>
<b>GOF=1.89</b>	<b>R<sub>p</sub>=15.49</b>	<b>D(μm)=5.6</b>	<b>R<sub>wp</sub>=19.20</b>	معاملات التحسين
<b>0.2136 (4)</b>	<b>30.6782 (32)</b>	<b>5.3778 (8)</b>	<b>5.3878 (7)</b>	<b>FeO3</b>
<b>GOF=1.65</b>	<b>R<sub>p</sub>=13.26</b>	<b>5.7</b>	<b>R<sub>wp</sub>=16.89</b>	معاملات التحسين

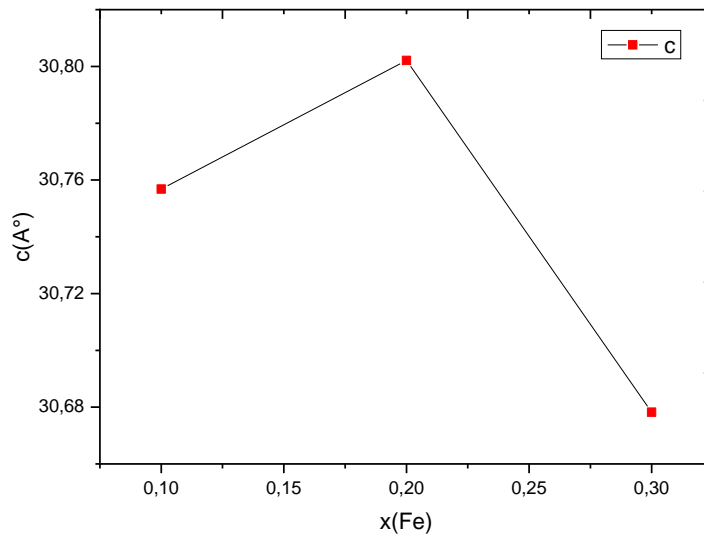
تبين الاشكال (8.3)، (9.3)، (10.3)، (11.3) التمثيل البياني للقيم الموجودة في الجدول (6.3).



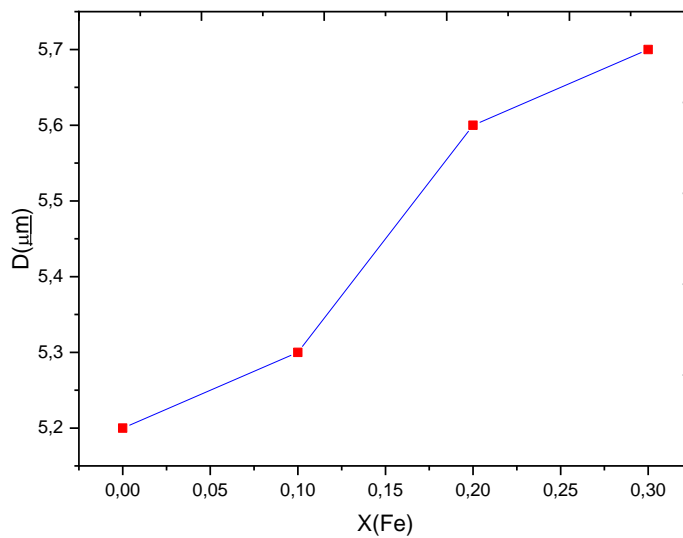
الشكل 12.3: منحنى تغيرات ثابتي الشبكة a و b بدلالة نسبة التطعيم x(Fe).

نلاحظ من الشكل (12.3) ان جميع العينات لا تتغير من نظامها البلوري (نظام معيني  $a \neq b \neq c$  و  $\alpha$ ) لان  $a \neq b$  في كل نسب التطعيم، ونلاحظ ايضا زيادة الثابت a بعد اول اضافة في المجال من  $(\gamma = \beta = 90^\circ)$

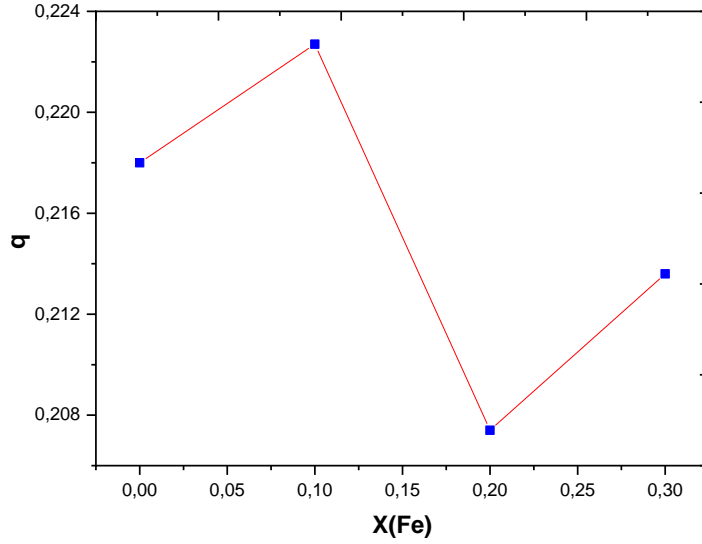
$x=0.1$  الى  $0.2$  عكس الثابت  $b$  يتناقص في اول تطعيم، اما بالنسبة في  $x=0.2$  و  $x=0.3$  يستمر الثابت  $b$  في التناقص وتناقص طفيف في الثابت  $a$  وهذا دلالة على تمدد وانضغاط في مستويات البلورية.



الشكل 13.3: منحنى تغيرات الثابت  $c$  بدلالة نسبة التطعيم  $x(\text{Fe})$ .



الشكل 14.3: منحنى تغيرات D بدلالة نسبة التطعيم  $x(\text{Fe})$ .



الشكل 15.3: منحنى تغيرات شعاع التموج q بدلالة نسبة التطعيم  $x(\text{Fe})$ .

نلاحظ ان في المجال التطعيم 0.1 الى 0.2 ان الثابت c يتزايد وهذا راجع غالبا الى الزيادة في الاكسجين الذي ستوضع بين المستويات Bi-O والذي سيحدث تمدد للثابت c. اما في مجال التطعيم من 0.2 الى 0.3 يتناقص فيه الثابت c فهذا راجع الى ان نصف القطر الايوني للحديد اقل من نصف قطر البزموت وهذا ما يؤكده الشكل 14.3.

ونفس التغيرات تحدث بالنسبة لشعاع التموج q.

3.3.2. دراسة البنية المجهرية بواسطة MEB:

تمت ملاحظة البنية المجهرية للعينات المختلفة عن طريق مسح المجهر الإلكتروني. تسمح ملاحظات MEB بإجراء تحليل نوعي وكمي للعينات، ويسمح التحليل النوعي بتقدير حجم ومورفولوجيا الحبيبات التي لها أهمية كبيرة في تفسير نتائج القياسات الفيزيائية.

## الخاتمة

## الخاتمة

في هذا العمل، حضرنا الطور Bi-2212، التي تنتمي إلى الموصلات الفائقة ذات درجة الحرارة العالية، من النوع الخزفي المطعم أكسيد الحديد الثلاثي ( $Fe_2O_3$ ) بكميات مختلفة بناءً على أكاسيد:  $Bi_2O_3$ ،  $SrCO_3$ ،  $CaCO_3$  و  $CuO$ ، العينات المحضرة تم تشخيصها باستخدام طريقة حيود الأشعة السينية المجهر الإلكتروني الماسح.

نتائج تحليلنا كما يلي :

✓ من نتائج DRX:

تم إجراء تحسين حيود الأشعة السينية (DRX) عن طريق تحليل المواد باستخدام برنامج الانعراج (Jana2006) للحصول على المعلمات البنيوية مثل ثوابت الشبكة، و المواقع التي تشغلها الذرات المختلفة وقيمة التطعيم لجميع العينات للطور Bi-2212 مع ظهور طورين شائبين Bi-2201 و طور في النظام المكعب  $CuO$ . تظهر النتائج أن التطعيم بأكسيد الحديد الثلاثي  $Fe_2O_3$  لا تغير البنية البلورية.

✓ من الفحص المجهر الإلكتروني الماسح MEB:

تُظهر صور المجهر الإلكتروني الماسح (MEB) للعينات وصلات أفضل للحبيبات عن طريق التطعيم ب  $Fe_2O_3$ .

و ان التطعيم بالحديد يؤدي الى زيادة كثافة الطور Bi 2212.

❖ افاق مستقبلية:

لدينا أيضاً المطعيمات اأخرى نظراً لضيق الوقت، لم تتمكن من تناول المطعيمات باستخدام (Pb، Pd، Sm)، (Ag، Mg، Zr) والدراسة الخواص المغناطيسية IRM، والخواص الكهربائية من خلال دراسة تغير المقاومة بواسطة تغير درجة الحرارة.



## الملخص

لقد قمنا في عملنا هذا بدراسة ماهية المواد فائقة الناقلية التي تتميز بأهمية تكنولوجيا كبيرة وتطور واكتشاف مستمرين، حيث تطرقنا الى دراسة التطعيم بالحديد على احد المركبات الخزفية Bi-Sr-Ca-Cu-O وهو احد مركبات الطور Bi-2212 باستعمال تقنية الاشعة السينية على المساحيق بهدف تتبع تكون الطور-Bi-2212 والأطوار الأخرى، كما استعمل المجهر الالكتروني الماسح بغرض الحصول على صورة للبنية المجهرية لحبيبات العينات المدروسة ومدى تلاحم حبيبات الطور وتكاثفها فيها.

الكلمات المفتاحية: الطور Bi-2212، التفاعل في الحالة الصلبة، انعراج الاشعة السينية، النظام-Bi-Sr-Ca-Cu-O، التطعيم بالحديد، الخزفيات فائقة الناقلية.

### Résumé :

Dans notre travail, nous avons étudié la nature des matériaux supraconducteurs, qui se caractérisent par l'importance de la grande technologie et du développement continu, où nous avons abordé l'étude du dopage avec du fer sur des composés céramiques Bi-Sr-Ca-Cu -O, qui est l'un des composés de la phase Bi-2212 utilisant la diffraction des rayons X sur les poudres, dans le but de tracer la formation de la phase Bi-2212 et d'autres phases, un microscope électronique à balayage a été utilisé afin d'obtenir une image de la microstructure des grains des échantillons étudiés et le degré de cohésion, et de condensation des grains des phases obtenues.

Mots clés : La phase Bi-2212, réaction à l'état solide, diffraction des RX, le système Bi-Sr-C-Cu-O, dopage par le Fer, les céramiques supraconductrices.

### Abstract:

In our work, we studied the nature of superconducting materials, which are characterized by the importance of high technology and continuous development, where we approached the study of doping with iron on Bi-Sr-Ca-Cu -O ceramic compounds., which is one of the compounds of the Bi-2212 phase using X-ray powder diffraction to follow the formation of the Bi-2212 phase and other phases, an electron microscope scanning was used in order to obtain an image of the microstructure of the grains of the samples studied and the degree of cohesion and condensation of the grains of all the phases obtained.

Keywords: Bi-2212: phase, Solide state reaction, XR diffraction, the system Bi-Sr-C-Cu-O, doping with iron, superconducting ceramics.