

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة ماستر أكاديمي

الميدان: علوم المادة

التخصص: فيزياء المواد

من إعداد: بروبة دلال

العنوان:

دراسة التغير الطوري لسبيكة $Fe_{73.6}Nb_{2.4}Cu_1Si_{15.8}B_{7.2}$ بواسطة

قياس المقاومة الكهربائية ومعامل سيبك في درجات حرارة مختلفة

نوقشت يوم: 2019/06/26

أمام اللجنة المتكونة من:

أ.بوعنان رايح	أستاذ مساعد "أ"	رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة
د.محمدي لزهري	أستاذ محاضر "أ"	ممتحنا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة
د.عاشوري عبد الرحيم	أستاذ محاضر "أ"	مشرفا ومقررا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة

الموسم الجامعي: 2019/2018

الإهداء

الحمد لله الذي وفقني لهذا ولم تكن لنصل إليه لولا فضل الله علينا أما بعد
إلى التي وهبت فلذة كبدها كل العطاء والحنان، التي صبرت على كل شيء،

والتي كانت دعواها لي بالتوفيق والنجاح

الغالية **أمي** حفظها الله.

إلى الإنسان الذي امتلك الانسانية بكل قوة، الذي سهر على تعليمي، إلى من أحمل
اسمه الغالي **أبي** أطال الله في عمره.

إليهم أهدي هذا العمل المتواضع الذي أدخل على قلوبهم شيئاً من السعادة، إلى
الذين بسماتهم لا تفارق وجوههم، إلى من معهم سعدي وبرفقتهم في دروب الحياة
الحلوة والحزينة، **أخواتي** و **أخي** رعاهم الله.

إلى قرة عيني و سدي في الحياة **زوجي** حفظه الله.

إلى من تحلوا بالإخاء وتميزوا بالوفاء والعطاء، إلى من عرفني كيف أجدهم وعلموني

أن لا أضيعهم **صديقاتي** و **زميلاتي** في الدراسة أتمنى لهم التوفيق والنجاح.

دلال بروبة

شكر و عرفان

الحمد لله على إحسانه والشكر له على توفيقه وامتنانه وأشهد أن لا اله إلا الله وحده لا شريك له تعظيما لشأنه وأشهد أن سيدنا ونبينا محمد عبده ورسوله عليه الصلاة والسلام.

بعد الشكر لله سبحانه وتعالى على توفيقه لي لإتمام هذا البحث المتواضع أتقدم بجزيل الشكر إلى الأستاذ المشرف الدكتور "عاشوري عبد الرحيم" الذي لن تكفي حروف هذه المذكرة لإيفائه حقه بصبره الكبير، وإرشاداته وتوجيهاته العلمية لي التي ساهمت بشكل كبير في إتمام هذا العمل ، كما أتقدم بشكري للأساتذة الكرام لجنة المناقشة الأستاذ "بوعنان رايح" على قبوله طلب ترأس اللجنة وإلى الدكتور "محمدي لزه" على قبوله طلب مناقشة وتقييم هذه المذكرة وإلى أساتذة وعمال إدارة قسم الفيزياء و إلى زملائي و زميلاتي "دفعة 2019 تخصص فيزياء المواد" و كل من ساعدني من قريب أو من بعيد على انجاز وإتمام هذا العمل.

الفهرس قائمة الجداول والأشكال

I.....	الفهرس
V.....	قائمة الجداول
IV.....	قائمة الأشكال
VIII.....	المقدمة العامة

الفصل الأول: عموميات عن المادة الصلبة وخصائصها البنيوية والبلورية

1.....	مقدمة
1.....	1- الحالة البلورية
1.....	2- البنية البلورية
3.....	1-2- المواد الصلبة البلورية
3.....	2-2- المواد الصلبة الغير بلورية
4.....	3- المعادن
4.....	1-3- خصائص المعادن
5.....	2-3- تصنيف المعادن
5.....	3-3- أهمية المعادن
5.....	4- السبائك
5.....	1-4- أنواع السبائك
6.....	2-4- طرق تحضير السبائك
6.....	3-4- سباكة المعادن
7.....	4-4- أهمية السباكة
8.....	5- خصائص بعض المعادن (Nb ، Fe ، B ، Si ، Cu)
8.....	1-5- النحاس

الفهرس قائمة الجداول والأشكال

- 8-2-5- السليكون.....8
- 9-3-5- البورون.....9
- 9-4-5- الحديد.....9
- 10-5-5- النيوبيوم.....10
- 10-6- الخصائص الكيميائية والفيزيائية للعناصر المدروسة.....10
- 12-7- دراسة التركيب البلوري.....12
- 12-1-7- الأشعة المستخدمة.....12
- 12-1-1-7- الأشعة السينية RX.....12
- 12-2-1-7- مبدأ انعراج الأشعة السينية وقانون براغ.....12
- 13-2-7- المجاهر المستخدمة.....13
- 13-1-2-7- المجهر الضوئي المركب.....13
- 13-2-2-7- أجزاء المجهر الضوئي المركب.....13
- 15-3-7- المجهر الالكتروني.....15
- 15-1-3-7- أجزاء المجهر الالكتروني.....15

الفصل الثاني: علاقة الانتقال الالكتروني بدرجة الحرارة

- 18.....مقدمة.....18
- 18-1- الانتقال الحراري.....18
- 18-2- طرق انتقال الحرارة.....18
- 19-1-2- التوصيل الحراري.....19
- 19-2-2- الحمل الحراري.....19

الفهرس قائمة الجداول والأشكال

- 19.....الإشعاع الحراري 3-2-3
- 20.....المزدوجة الحرارية. 3-3-3
- 20.....القوة المحركة الكهربائية. 4-4-3
- 21.....التأثيرات الكهروحرارية. 5-5-3
- 21.....مفعول سيباك. 5-1-5
- 22.....مفعول بلتية. 5-2-5
- 22.....مفعول طومسون. 5-3-5
- 23.....العلاقة بين مفعول سيباك و مفعول بلتية ومفعول طومسون. 5-4-5
- 25.....الانتقال الإلكتروني. 6-6-5
- 25.....الانتقال الإلكتروني المباشر. 6-1-6
- 25.....الانتقال الإلكتروني الغير مباشر. 6-2-6
- 26.....خصائص النواقل. 7-7-5
- 27.....الناقلية الحرارية. 7-1-7
- 27.....الناقلية الكهربائية. 7-2-7
- 27.....المقاومة الكهربائية. 7-3-7
- 27.....المقاومية الكهربائية. 7-4-7
- 29.....تأثير هول. 7-5-7

الفصل الثالث: التركيب التجريبي النتائج التجريبية ومناقشة النتائج

- 31.....مقدمة.
- 31.....1-الجاناب التجريبي.
- 31.....1-1-التعريف بالعينة.

الفهرس قائمة الجداول والأشكال

32.....	2-1- طريقة العمل.....
33.....	3-1- التركيب التحريبي.....
35.....	2- النتائج المتحصل عليها.....
36.....	1-2- ترجمة منحنى المقاومة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة للسبيكة المدروسة.....
38.....	2-2- ترجمة منحنى معامل سيبك بدلالة درجة الحرارة للسبيكة المدروسة.....
38.....	3-2- المقارنة بين منحنى المقاومة الكهربائية ومنحنى معامل سيبك بدلالة درجة الحرارة للسبيكة المدروسة.....
39.....	الخلاصة العامة.....
.....	المراجع.....

قائمة الجداول

الفصل الأول: عموميات عن المادة الصلبة وخصائصها

الجدول 1: الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعناصر (Cu Fe Si Nb B).....11

قائمة الأشكال

الفصل الأول: عموميات عن المادة الصلبة وخصائصها البنيوية والبلورية

- الشكل (1-1): رسم تخطيطي للبنية البلورية 2
- الشكل (2-1): رسم تخطيطي لمادة صلبة بلورية وغير بلورية..... 3
- الشكل (3-1): صورة توضح عملية صب الخليط المنصهر في القوالب..... 7
- الشكل (4-1): صورة لعنصر النحاس..... 8
- الشكل (5-1): صورة لعنصر السليكون..... 8
- الشكل (6-1): صورة لعنصر البورون..... 9
- الشكل (7-1): صورة لعنصر الحديد..... 9
- الشكل (8-1): صورة لعنصر النيوبيوم..... 10
- الشكل (9-1): رسم تخطيطي يبين ظاهرة الانعكاس لنموذج براغ 13
- الشكل (10-1): صورة توضح أجزاء المجهر الضوئي المركب..... 14
- الشكل (11-1): رسم تخطيطي لمكونات المجهر الالكتروني (النافذ - الماسح)..... 16

الفصل الثاني: علاقة الانتقال الالكتروني بدرجة الحرارة

- شكل (1-2): صورة توضح طرق انتقال الحرارة..... 18
- شكل (2-2): رسم تخطيطي يوضح المزدوجة الحرارية 20
- الشكل (3-2): رسم تخطيطي يوضح مفعول سيباك..... 22
- الشكل (4-2): رسم تخطيطي يوضح مفعول بيتيه..... 23
- الشكل (5-2): رسم تخطيطي يوضح مفعول طومسون..... 24
- الشكل (6-2): رسم تخطيطي يوضح أنواع الانتقال الالكتروني..... 26

الشكل (2-7): رسم تخطيطي يوضح مفعول هول.....29.....

الفصل الثالث: التركيب التجريبي النتائج التجريبية ومناقشة النتائج

الشكل (3-1): صورة للعينه قبل المعالجة.....31.....

الشكل (3-2): صورة للعينه أثناء المعالجة.....32.....

الشكل (3-3): رسم تخطيطي للتركيب التجريبي.....33.....

الشكل (3-4): منحنى المقاومة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة للسبيكة المدروسة.....35.....

الشكل (3-5): منحنى معامل سيباك بدلالة درجة الحرارة للسبيكة المدروسة.....36.....

المقدمة

العامّة

المقدمة العامة

لقد احتلت المعادن أهمية كبيرة في مختلف نواحي الحياة منذ العصور القديمة، أين زادت الحاجة إليها وبشدة مع تطور حياة والنمط المعيشي للمجتمعات الشيء الذي دفع العلماء إلى العمل على اكتشاف معادن جديدة و بأشكال مختلفة.

إن الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية للمعادن النقية في أغلب الأحيان لا تفي بالغرض فيما يتطلبه التطبيق العلمي لهذه المعادن ، لذلك يغلب استخدامها بشكل سبائك (خلائط) بقصد التعديل في خصائصها أو الحصول على خصائص جديدة لا يتصف بها أي معدن من المعادن المكونة للسبيكة، فالسبيكة إذا هي خليط أو مركب من معدنين أو أكثر بهدف الاستفادة من الخصائص الجديدة للسبائك في مختلف الصناعات المعدنية بالإضافة إلى الصناعة التكنولوجية الحديثة . ومن بين الخصائص الفيزيائية، الخصائص الكهروحرارية التي سنتطرق إليها هذا البحث الذي يتناول موضوع دراسة التغير الطوري لسبيكة ($\text{Fe}_{73.6}\text{Nb}_{2.4}\text{Cu}_1\text{Si}_{15.8}\text{B}_{7.2}$) بواسطة قياس المقاومة الكهربائية ومعامل سيباك في درجات حرارة مختلفة.

حيث تنحصر هذه المذكرة في ثلاث فصول متمثلة في فصل أول و ثاني يتناولان الدراسة النظرية، وفصلا ثالثا نتناول فيه التركيب التحريبي والنتائج المتحصل عليها، إذ تم تخصيص الفصل الأول في ذكر عموميات عن المادة الصلبة وخصائصها البنيوية والبلورية.

أما الفصل الثاني فيتضمن علاقة الانتقال الإلكتروني بدرجة الحرارة وكذا التأثيرات الكهروحرارية (مفعول سيباك، مفعول بلتييه، مفعول طومسون) على المادة وخصائصها الحرارية والكهربائية. والفصل الثالث التعريف بالتركيب التحريبي وطريقة العمل وكذا النتائج المتحصل عليها مع مناقشتها. وفي الأخير خلاصة عامة نذكر فيها كل ما تناولناه من استنتاجات من خلال مناقشة نتائج دراسة هذا الموضوع.

الفصل الأول

عموميات عن المادة

الصلبة وخصائصها

البنية البلورية

مقدمة

تظهر المواد في الطبيعة بثلاث حالات وهي الغازية، السائلة والصلبة، حيث تعتمد كل حالة على مقدار الطاقة الكامنة أو قوة الترابط بين الذرات، ففي الحالة الغازية تمتلك ذرات المادة طاقة كامنة كبيرة جدا تسبب لها حركة دائمة وعشوائية مما يمنعها من الاستقرار، فعند تحول الغاز إلى سائل بالتبريد تتحرك مكوناتها بشكل عشوائي ودائم لكن بدرجة حرارة أقل من الحالة الغازية، حيث يمتلك السائل حجما ثابتا بالإضافة لعدم امتلاكه شكل محدد إذ يأخذ شكل الإناء الذي يحويه، وعند زيادة معدل التبريد يتحول السائل إلى الصلب فتقترب الذرات من بعضها البعض إلى أقرب مسافة ممكنة حيث تحتفظ بمواقع ثابتة وبذلك فإن الجسم الصلب يتميز بحجم وشكل ثابتين.

1- الحالة البلورية (Crystalline state)

تعرف الحالة البلورية على أنها الحالة التي تكون فيها الذرات أو الأيونات أو الجزيئات المكونة لها مستقرة نسبيا، وهو مصطلح يعبر عن ترتيب هندسي ودوري للذرات في الفضاء الثلاثي الأبعاد (البلورة المثالية) حيث تتميز التشكيلات البلورية بإستقرارها غالبا وامتلاكها للكثافة الأصغر للذرات للطاقة مع عدم إمكانية الحصول على الحالة البلورية المثالية لكون سطح البلورة يشكل عيبا للبلورة في حد ذاتها، بالإضافة إلى وجود بعض الشوائب وكذلك للحركة الاهتزازية للذرات التي تؤثر على الدورية بفعل تقلبات الحرارة [1][2].

2- البنية البلورية (Crystal structure)

وهي تعبر عن تتابع منتظم للقاعدة المتموضعة في عقدة الشبكة البلورية الموزعة بشكل دوري في الفضاء [1]، و يجب أن تكون كافة القواعد في كل شبكة بلورية متماثلة في تركيبها وعددها ويمكن أن يكون العدد ذرة أو عدة من الذرات بشرط أن تكون خاضعة لشروط الدورية الذي يوضحه (الشكل 1-1)، تتميز البنية البلورية بالاستقرار وهذا التميز يحقق المعالم التالية :

1- تحافظ على الاعتدال الكهربائي في البلورة.

2- تكون جميع الروابط بين الذرات محددة.

3- تبقى شدة التدافع الناجمة عن (أيون - أيون) أصغرية

4- تجتمع الذرات معا لتحتل حجما أصغريا [8].

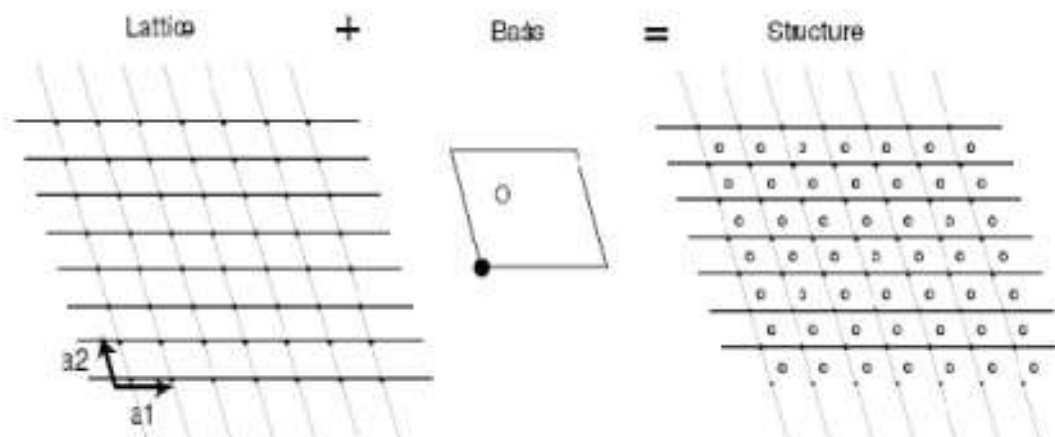
وبشكل مختصر نعرف البنية البلورية بالمعادلة التالية:

شبكة بلورية (Lattice) + قاعدة (Bass) = بنية بلورية (Structure)

حيث أن:

الشبكة البلورية: تمثل المفهوم الرياضي الذي يعبر عن هندسة البلورة ويخول من أي مكونات مادية .

القاعدة : عبارة عن ذرة أو مجموعة من الذرات وتمثل البناء البلوري الحقيقي [8].



الشكل 1-1: رسم تخطيطي للبنية البلورية

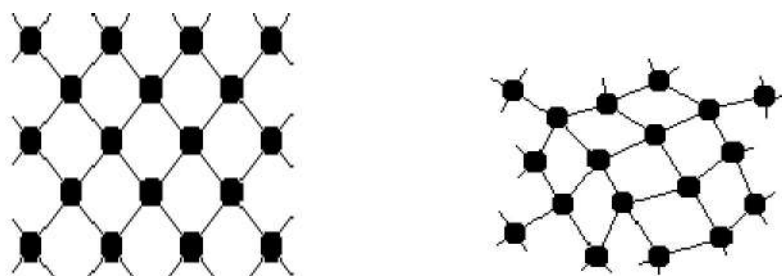
2-1-المواد الصلبة البلورية (Crystal Solids)

هي مواد صلبة تتموضع ذراتها في المادة مواقع محددة ضمن الشبكة وفق الترتيب المنتظم والدوري لذرات المادة ويسمى هذا الترتيب بنظام المدى الطويل (لامحدود) وتمثل تعتبر الحالة المستقرة للمادة الصلبة التي تتميز بها المعادن وخاصة الألماس [2][8].

2-2-المواد الصلبة الغير بلورية (Solids of amorphous)

هي المواد الصلبة التي لا تتوزع فيها الذرات توزيع منتظم على نطاق بعيد ويكون توزيع الذرات فيها عشوائيا أي أنه لا يتبع أي نظام من الأنظمة البلورية كونها تتميز بنظام النطاق القصير أو المحدود وبنية شبه مستقرة مثل الزجاج، ويمكن أن نتحصل على المادة الصلبة البلورية من مادة الغير البلورية بفعل عدة عوامل نذكر منها الزيادة في الطاقة الحرارية، والتبريد السريع [1][8].

يوجد اختلاف بين المواد الصلبة البلورية والغير البلورية، حيث يمكن تحديد كافة الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للمواد الصلبة البلورية كدرجة حرارة الانصهار وتعيين الاتجاهات و التناظرات البلورية وتتميز بقابلية السحب والطرق عكس المواد الغير بلورية [2]. فالشكل الموالي (الشكل 1-2) يمثل اختلاف المواد الصلبة البلورية و الصلبة الغير بلورية.



الشكل 1-2 : رسم تخطيطي لمادة صلبة بلورية وغير بلورية

3- المعادن (Minerals)

المعدن هو عبارة عن مادة صلبة غير عضوية توجد في الأرض بصورة طبيعية ذات تركيب كيميائي مميز أو متغير في نطاق محدود، إذ أنه يملك تركيب بلوري داخلي ثابت و يأخذ شكل متبلور في أغلب الأحيان إلا أنه يظهر أحيانا على شكل غير بلوري الأمر الذي يمكنه التحكم في تحديد صفات وخصائص المعادن الطبيعية [5][7].

3-1- خصائص المعادن

تتميز المعادن بخصائص تنقسم على النحو التالي:

- الطبيعية:

- تتكون في الطبيعة بصفة تلقائية.
- مواد نقية لها مكونات محددة وبشكل بلوري مميز [5].

- الفيزيائية:

- تأخذ لون وبريق والشفافية خاص بكل معدن.
- لها قابلية الطرق والسحب .
- ذات ناقلية جيدة للكهرباء الحرارية والمغناطيسية.
- الوزن النوعي .
- التوصيل الحراري وقابلية الانصهار [9] .

- الكيميائية:

- تتميز التفاعل مع الأحماض أي لها سطح تفاعلي .
- سهولة التحلي عن إلكترونات الطبقة السطحية.

- إمكانية التعرض للتآكل [7][6].

3-2- تصنيف المعادن:

تنقسم المعادن الي نوعين وهي :

- حديدية، حيث تكون التركيبة المعدنية الخاصة بها تتكون من عنصر الحديد بالإضافة إلى عنصر الكربون.
- غير الحديدية، تشمل عنصر النحاس الأصفر وتعرف بأنها ليست ثقيلة، تتميز بأقل قابلية للتآكل وأكثر ليونة حيث تحتاج إلى قوة ضغط أقل للتمكن من تشكيلها [10].

3-3- أهمية المعادن:

تكمن أهمية المعادن في مايلي:

- تعتبر المعادن مادة أساسية في الصناعات الخفيفة والثقيلة كصناعة الآلات والأدوات وأجهزة التكنولوجيات الحديثة والمحركات الكهربائية و الميكانيكية .
- تستخدم المعادن في صناعة الأدوات الزراعية والعسكرية والمواصلات .
- تدخل المعادن في صناعة النقود المعدنية وأسلاك التوصيل الكهربائي [6][10].

4- السبائك (Alloys)

تعرف السبائك على أنها عبارة عن مزيج أو مخلوط من عنصرين معدنيين أو أكثر أين يكون على الأقل أحدهما فلز ،تحدث هذه العملية بواسطة تصلب المكونات المصهورة أين تكون إما معدنية أو غير معدنية، فالهدف من تحضير السبائك هو محاولة الرفع من المقاومة الميكانيكية للمادة الفلزية، وأيضا تحسين مقاومتها لظاهرة التآكل [7] .

4-1- أنواع السبائك

تنقسم أنواع السبائك إلى نوعين وهما:

- سبائك وحيدة الطور: تتكون من حبيبات ذات التركيب المتشابه أين يكون في هذه السبائك ذوبان فلز في الفلز الآخر بنفس ذوبانية السكر في الماء.
- سبائك متعددة الأطوار : تتكون من عدة أنواع من الحبيبات مختلفة التركيب ممتزجة مع بعضها البعض، حيث يأخذ الارتباط بين الذرات عدة وضعيات مختلفة [6][7].

4-2- طرق تحضير السبائك

- تنحصر عملية السباكة في عدة طرق نذكر منها :
 - تبريد المصهور .
 - التبريد البطيء بعد التسخين لدرجة حرارة قريبة من درجة الانصهار .
 - الضغط العالي للمسحوق في درجات حرارة عالية [1][4].

4-3- سباكة المعادن

تعتبر عمليات السباكة من أهم العمليات التكنولوجية التي تستخدم في الصناعة، إذ يمكننا بواسطة عمليات السباكة الحصول على المسبوكات نصف مصنعة أو مصنعة وذلك حسب الطريقة المستخدمة، حيث يتم الحصول على المسبوكات عن طريق صهر عناصرها بالنسب الوزنية المطلوبة في فرن بمعزل عن الهواء لتجنب أكسدة أي من مكوناتها، ثم يتم صب الناتج في قالب ويترك لكي يبرد ويتجمد، لذلك فإن شكل المسبوكات يكون متطابقاً مع شكل القالب [11]. نأخذ مثالا لخطوات سباكة الألمنيوم.

- 1- صهر قطعة من الألمنيوم عند درجة حرارة 850°C .
- 2- إضافة عناصر السبك البورون والتيتانيوم بعد وزنها للألمنيوم المنصهر مع التحريك المستمر للمصهور لمدة 4 إلى 5 دقائق ويتم ذلك من خلال جهاز الخلط الملحق في الفرن لضمان حصول التجانس .
- 3- إبقاء الخليط عند درجة حرارة 1000°C لمدة ساعة .

4- يسكب الخليط المنصهر في القالب المسخن سابقا لدرجة حرارة 250°C لتلقي التجمد المنصهر قبل

دخوله القالب وتقليل عيوب السباكة كما يوضحه (الشكل 1-3).

5- وضع المسبوكات في فرن كهربائي لمدة ساعة عند درجة حرارة 500°C ثم تبردها تبريدا سريعا في

الماء إلى درجة حرارة الغرفة من أجل المجانسة الحرارية .

6- المعالجات الميكانيكية والكيميائية للمسبوكات [14].



الشكل 1-3: صورة توضح عملية صب الخليط المنصهر في القوالب

4-4- أهمية السباكة

للسباكة أهمية كبيرة نذكر البعض منها وهي:

- سهولة الحصول على المسبوكات ذات شكل هندسي مهما بلغت شدة التعقيد في الشكل.
- توفير عمليات التشكيل على الماكينات .
- تكون المسبوكات المنتجة متشابهة إلى حد كبير.
- بعض المعادن لا يمكن تشكيلها إلا بواسطة عمليات السباكة مثل حديد الزهر [4][11].

5- خصائص بعض المعادن (Nb ،Fe ،B ،Si ،Cu)

5-1- النحاس

عنصر كيميائي معدني لونه أصفر محمر كما يوضحه (الشكل 1-4)، يرمز له بـ: Cu، وهو من المعادن غير الحديدية، لتمييزه بقابلية السحب والطرق وتوصيلته الجيدة للحرارة والكهرباء، إلا أنه يتأثر بالهواء الرطب الذي يغطي سطحه بطبقة من الأملاح التي تترسب حوله، يستخدم عادة في الأواني والأسلاك الكهربائية الموصلة [10].



الشكل 1-4: صورة لعنصر النحاس

5-2- السليكون

عنصر كيميائي لا معدني لونه رمادي كما هو موضح في (الشكل 1-5)، يرمز له بـ: Si، ثاني أكثر العناصر وفرة في القشرة الأرضية بعد الأكسجين، ويكثر السليكون في الكوارتز والرمل وغيرهم، يستعمل في صناعة الترانزيستور والخلايا الشمسية والأجهزة الالكترونية لأنه شبه موصل جيد [7].



الشكل 1-5 : صورة لعنصر السليكون

5-3-البورون

عنصر كيميائي رمزه : B ، وهو عنصر معدني ثلاثي التكافؤ، يأخذ شكلين أصليين فالبور الغير متبلور عبارة عن مسحوق بني اللون، أما الثاني ذو شكل بلوري أسود اللون موضح في (الشكل 1-6)، يتواجد بوفرة عالية في ملح بلورات الصوديوم، و يتميز بموصلية جيدة في الدرجات الحرارة عالية ولا يوجد بشكل حر في الطبيعة [7].



الشكل 1-6: صورة لعنصر البورون

5-4-الحديد

عنصر كيميائي معدني لونه رمادي رمزه: Fe من أقدم المعادن اكتشافا و ذو أهمية أكثر أي معدن آخر وذلك لخصائصه المميزة، إذ أنه يتميز بقابلية السحب والطرق إلا أنه سريع التأثر بالأكسجين أي له خاصية التأكسد، يستعمل في الأغراض الهندسية والميكانيكية ومجالات أخرى عديدة ومتنوعة [7].



الشكل 1-7: صورة لعنصر الحديد

5-5- النيوبيوم

عنصر كيميائي فلزي رمزه Nb لونه رمادي موضح في (الشكل 1-8) قابل للتشكيل، يستعمل في صناعة السبائك، وأبرز سبائكه تستخدم في صناعة أنواع خاصة والمفاصل الملحومة القوية والصناعات النووية والالكترونيات وكذا صناعة الحلبي والمجوهرات [7].



الشكل 1-8 : صورة لعنصر النيوبيوم

6-الخصائص الفيزيائية والكيميائية للعناصر المدروسة

نلخص بعض الخصائص الكيميائية والفيزيائية للعناصر Nb، Fe، Si، B، Cu في الجدول رقم (1-1)

الجدول 1-1: خصائص كل عنصر

العنصر الخاصية	Cu النحاس	B البورون	Si السليكون	Fe الحديد	Nb النيوبيوم
العدد الذري	29	5	14	26	41
الكتلة الذرية g/mol	63.5	10.81	28.085	55.84	92.90
نصف القطر الذري Pm	128	28	110	126	146
الكثافة ³ g/cm ³	8.94	2.34 ³	2.33	7.87	8.57
نقطة الانصهار °C	1083	2076	1414	1538	2477
نقطة الغليان °C	2562 °C	3927°C°	3265°C°	2862°C°	4744°C°
حرارة الانصهار KJ/mol	13.26	50.2	50.21	13.81	30
حرارة التبخر KJ/mol	300.4	480	359	340	689.9
السعة الحرارية عند 25°C° J/mol.k	24.44	11.087	19.789	25.10	24.60
المقاومة الكهربائية ηΩ.m	16.78	1.5.10 ^u		26.1	152
الناقلية الحرارية w/m.k	401	27.4	149	80.4	53.7
التمدد الحراري μm/m.k	16.5	2	2.6	11.8	7.3

7- دراسة التركيب البلوري

لدراسة التركيب البلوري لمادة معينة نستخدم على عدة طرق نذكر منها طريقة إنعراج الأشعة السينية، المجهر الضوئي المركب، المجهر الإلكتروني الماسح،

7-1- الأشعة المستخدمة

من شروط الأشعة أن تكون مناسبة لدراسة التركيب البلوري للمادة في الحالة الصلبة، يجب أن يكون الطول الموجي للأشعة مساويا تقريبا للمسافة بين ذرات المادة الصلبة أي تكون في حدود (1\AA)، فهذه الأشعة هي التي بواسطتها يمكن الحصول على جميع معلومات مهمة التي تخص التركيب البنائي للمادة .

7-1-1- الأشعة السينية RX

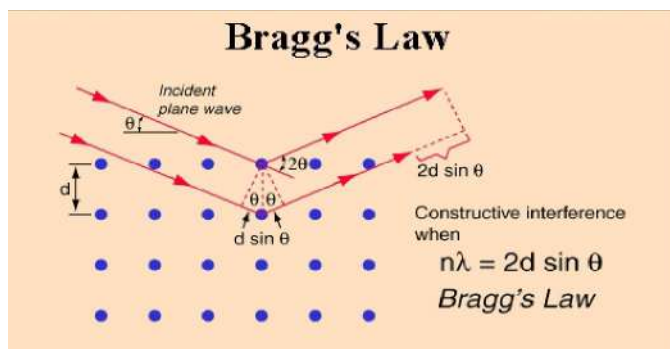
الأشعة السينية هي أشعة كهرومغناطيسية عالية التردد تتميز بطاقة فتونية في مجال 100ev ، فهي المصدر الرئيسي للمعلومات عن البنية البلورية كونها تتمتع بطيف واسع من الأطوال الموجية تتناسب مع كافة الأبعاد بين الذرات في المادة الصلبة [3].

7-1-2- مبدأ انعراج الأشعة السينية RX وقانون براغ

عند تسليط بعض الأشعة السينية على المادة الصلبة فإنها تتشتت بواسطة المستويات الذرية للمادة وتحدد عن مسارها وتتداخل معا مكونة نموذج حيود وهو ما افترضه براغ (الشكل 1-9) الذي يوضح ذلك، حيث يحمل في طياته معلومات عن التركيب البلوري، إذ يمكن استخراج هذه المعلومات والحصول على تفاصيل جيدة عن طريق تحليل نماذج حيود الأشعة السينية داخل المادة [1][3]. ويكتب قانون براغ بالصيغة التالي :

$$n\lambda = 2d_{hkl}\sin \theta \dots \dots \dots (1 - 1)$$

θ : زاوية سقوط الأشعة . λ : الطول الموجي . n : عدد صحيح يمثل رتبة الإنعاس، d : المسافة البينية لمجموعة المستويات hkl



الشكل 1-9: رسم تخطيطي يبين ظاهرة الإنعاس لنموذج براغ

7-2- المجاهر المستخدمة (Microscopes)

المجهر هو جهاز يستخدم لتكبير الأجسام الصغيرة التي من الصعب رؤيتها بالعين المجردة و إعطائها صورة واضحة حتى ألف مرة، وقد أسهم المجهر باكتشاف الكثير من خفايا الأجسام الدقيقة وذلك بفضل تعدد أنواع المجاهر ومن أهمها المجاهر الإلكترونية، منها المجهر الإلكتروني الماسح والمجهر الإلكتروني النافذ، والمجاهر الضوئية ومن أهمها مجهر الأشعة فوق بنفسجية، المجهر المستقطب، المجهر الضوئي المركب .

7-2-1- المجهر الضوئي المركب

المجهر الضوئي المركب من المجاهر المستخدمة حديثا والأكثر شيوعا، حيث يتكون من عدستين محدبتين لهما أطوال بؤرية قصيرة، يستخدم أشعة الضوء العادي أو إحدى مشتقاته لإضاءة العينة المراد فحصها [19] .

7-2-2- أجزاء المجهر الضوئي المركب

1- العدسة العينية : عدسة موجودة في أعلى الأسطوانة وننظر من خلالها إلى العينات المراد فحصها وعادة ما تكون قوة تكبيرها عشرة أضعاف (10X).

2-قرص تحريك العدسات : قرص يحمل العدسات الشيئية ويستخدم لتغيير مواقعها وفقا لحاجة درجة التكبير .

3-العدسات الشيئية : عدسات مختلفة التكبير مثبتة على قرص متحرك قريبة من الشيء المراد تكبيره.

4-المنضدة : سطح مستوي توضع عليه العينة المطلوب تكبيرها، توجد في وسطه فتحة لمرور الضوء يمكن تحريكها للأعلى والأسفل.

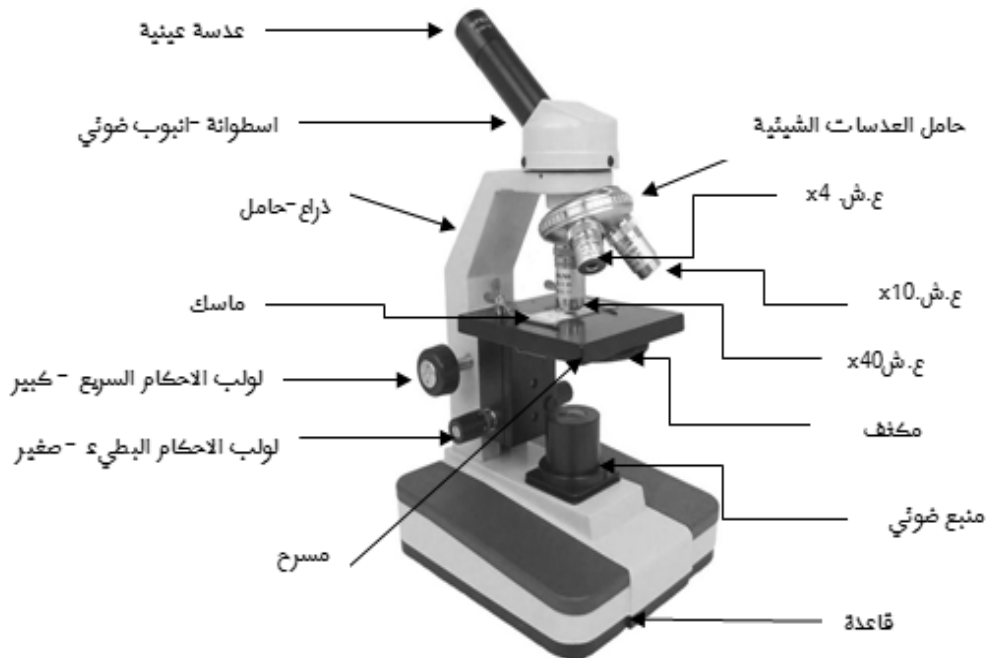
5-مثبت الشريحة : قطعة معدنية تستخدم لتثبيت الشريحة .

6-الضابطان الكبيران : وهو عبارة عن عجلتان تستخدمان لتوضيح العينة بدقة والحصول على رؤية واضحة .

7-الضابطان الصغيران : عجلتان صغيرتان تستخدمان لتوضيح العينة بدقة بعد ضبطها باستخدام الضابطان الكبيران .

8-المكثف : قرص مثبت أسفل المنضدة يسمح بالتحكم بكمية الضوء المارة إلى العدسة .

9-مصدر الضوء : مصباح مضيء أو مرآة عاكسة للضوء يوجد أسفل المكثف [19]



الشكل 1- 10: صورة توضح أجزاء المجهر الضوئي المركب

7-3- المجهر الإلكتروني

يتميز المجهر الإلكتروني بقوة التكبير عالية جدا قد تصل إلى أكثر من مليون مرة، حيث يعتمد في مبدأ عمله على مصدر الإضاءة فيه و هي عبارة عن حزم من الإلكترونات، أما العدسات المستخدمة فيه هي عدسات كهرومغناطيسية [26] والمجهر الإلكتروني نوعان وهما:

- المجهر الإلكتروني النافذ

يستخدم طاقة الإلكترونات في تكوين صور بها معلومات عن التركيب الكيميائي والبلوري و الشكل الداخلي للعينة، ويعد أقوى المجاهر الموجودة حاليا حيث تصل أقصى قوة تكبير له إلى واحد نانو متر حيث يقدم المجهر صور ثنائية الأبعاد عالية الدقة [26].

- المجهر الإلكتروني الماسح

المجهر الإلكتروني الماسح من المجاهر الحديثة تركيبه يشبه المجهر الإلكتروني النافذ من حيث مصدر الإضاءة و العدسات المستخدمة إلا أنه يختلف عن النافذ في كيفية إظهار صورة العينة حيث يعتمد على الإلكترونات المرتدة من سطح العينة لتظهر على شاشة تلفزيونية وعادة ما يستخدم في دراسة العينة كاملة أو جزء منها [26][30].

7-3-1 أجزاء المجهر الإلكتروني

1- مدفع الإلكترونات: عبارة عن سلك رفيع من مادة التنغستين وهي مادة موصلة للحرارة حيث تنبعث منه الإلكترونات عندما يتم تسخينه.

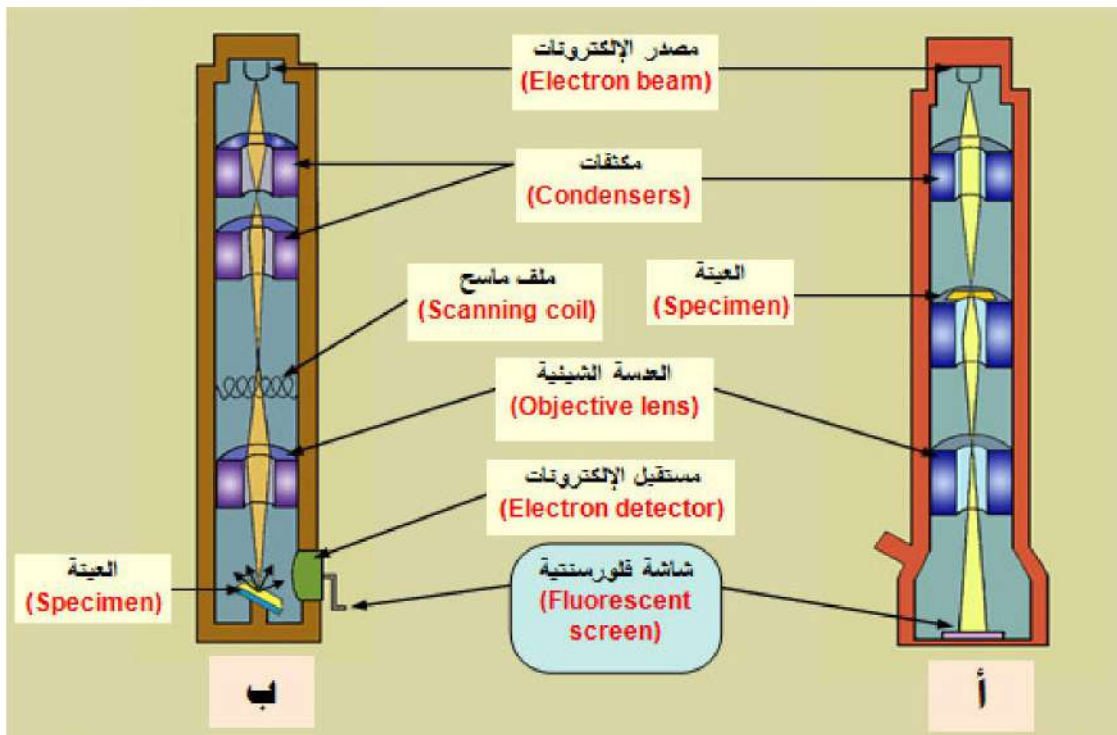
1- عدسات مغناطيسية: تستخدم للتحكم في حزمة شعاع الإلكترونات لتكوين الصورة المطلوبة للعينة

2- ملفات المسح: تستخدم للتحكم في مسار شعاع الإلكترونات لمسح الجزء الصغير من سطح العينة بالنسبة للمجهر الإلكتروني الماسح.

3- قاعدة تثبيت العينة: عبارة عن قاعدة يتم التحكم بها من خلال لوحة التحكم الرئيسية ليتم تحريكها أفقيا و عموديا.

4- كاشف الإلكترونات: وهو كاشف يتم تثبيته فوق العينة ليعمل على استقبال الإلكترونات المنبعثة من سطح العينة.

5- أجهزة أخرى: مضخم الإشارة حيث يستخدم لقياس ومعالجة الإلكترونات التي تم استقبالها ليتم عرضها من خلال أنبوبة الأشعة الكاثودية [30].



الشكل 1-11: رسم تخطيطي لمكونات المجهر الإلكتروني (أ- النافذ، ب- الماسح)

الفصل الثاني

علاقة الانتقال الإلكتروني

بدرجة الحرارة

مقدمة

تعتبر الكهرباء الحرارية مصدر من مصادر الطاقة المتجددة حديثاً، حيث يتم تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة كهربائية أو العكس عن طريق ظاهرة فيزيائية جد مهمة وهي الانتقال الإلكتروني داخل المادة الصلبة، الشيء الذي يميزها عن غيرها من المواد نتيجة التغير في درجة الحرارة أو الضغط أو تطبيق فرق في الكمون الكهربائي، هذا الأخير الذي يمكننا من معرفة الظواهر الكهروحرارية التي بدورها يمكن من خلالها معرفة جميع الخواص الكهربائية والحرارية للمادة، وذلك ما سنتطرق إليه بإسهاب في هذا الفصل .

1- الانتقال الحراري Heat Transfer

يعرف الانتقال الحراري أو الطاقة الحرارية على أنه كمية الحرارة المنتقلة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد، فعندما يكون جسم ما ذو درجة حرارة مختلفة عما يحيط به من الأجسام يحدث انتقالاً للحرارة أو تبادل حراري إلى أن تصل الأجسام إلى الاستقرار أو ما يسمى بالتوازن الحراري والذي يعني التجانس في درجة حرارة في كامل الجسم [12][13].

2- طرق انتقال الحرارة

يأخذ الانتقال الحراري عدة أشكال نستطيع تلخيصها في الشكل (2-1):



الشكل 2-1 : صورة توضح طرق انتقال الحرارة

2-1- التوصيل الحراري (Heat Conduction)

تنتقل الحرارة في عملية التوصيل الحراري بواسطة إحدى الطريقتين المتمثلة في مايلي:

- عن طريق الإلكترونات الحرة: تكتسب الإلكترونات الحرة طاقة (طاقة حرارية) التي تسبب زيادة في الطاقة الحركية لها، بحيث تتحرك هذه الإلكترونات نحو المنطقة ذات درجات الحرارة أقل فتصطدم بالإلكترونات الموجودة فيها وبالتالي تفقد جزء من طاقتها الحركية (الطاقة الحرارية المكتسبة)، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة للمنطقة الباردة .

- عن طريق جزيئات المادة: تكتسب جزيئات المادة الموجودة في الطرف الساخن طاقة حركية مما يزيد من سعة الاهتزاز لها ويجعلها تتصادم مع الجزيئات المجاورة لها، و التي تكتسب بدورها طاقة حركية ثانية تنقلها إلى التي تجاورها وهكذا حتى تنتقل الحرارة إلى الطرف الآخر للمادة [12][15].

2-2- الحمل الحراري (Heat Convection)

يعبر عن انتقال الحرارة بواسطة الموائع (السوائل، الغازات) أثناء حركتها الاعتيادية بتبادل للطاقة الحرارية بين الأجزاء المتحركة للمائع وسطوح المادة الصلبة عبر التيارات الحمل، و يتم ذلك عن طريق دوران تيار الحمل حول المادة المسخنة. وله نوعان، فالأول حمل حراري قسري والذي يحدث بفعل قوة خارجية تؤثر في المائع وتحركه لكي ينقل حرارة، أما النوع الثاني حمل حراري طبيعي والذي يحدث فيه المائع الساخن يصعد (كثافة اقل) والبارد ينزل (كثافة أكبر) [12][13].

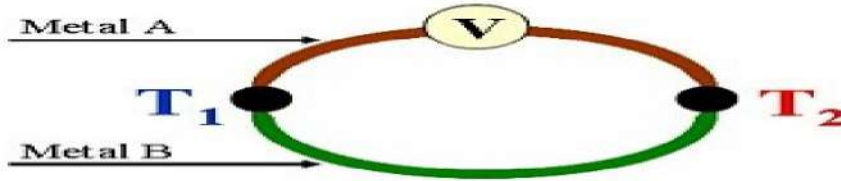
2-3- الإشعاع الحراري (Heat Radiation)

هو انتقال الحرارة خلال الفراغ الذي لا يحوي أي جسيمات بحيث تولد الذرات أو الجزيئات المتحركة داخل أي جسم موجات من الطاقة الإشعاعية تسمى هذه الأشعة تحت الحمراء، وتشع الأجسام الساخنة كمية من هذه الأشعة أكبر من الكمية التي تشعها

الأجسام الباردة، حيث تنتقل الأشعة تحت الحمراء خلال الفضاء بطريقة مشابهة جدا لانتقال موجات الماء عن سطح بركة، فعندما تصدم الطاقة الإشعاعية جسما فإنها تزيد من سرعة ذراتها أو جزيئاتها [12][13].

3- المزدوجة الحرارية (Thermocouple)

المزدوجة الحرارية هي تركيب نستطيع من خلاله توليد تيار كهربائي بالحرارة فقط، فهي عبارة عن توصيل بين سلكين معدنيين مختلفين في النوع وفي درجة الحرارة، فعند ارتفاع في درجة حرارة إحدى السلكين ($T_2 > T_1$) تتحرك إلكتروناته بسرعة نحو منطقة الربط بين المعدنين مشكلة تراكم في الإلكترونات في هذه المنطقة، وهنا يحدث الفرق في الإلكترونات وهذا ما يعبر عن التيار الكهرو حراري الذي يختلف من معدن إلى آخر بسبب اختلاف في درجة حرارة انصهار كل معدن [17][23].



الشكل 2-2 : رسم تخطيطي يوضح المزدوجة الحرارية

4- القوة المحركة الكهربائية (Electromotive Force)

القوة المحركة الكهربائية (emf) هي مصطلح يعبر عن مقدار فرق الجهد الكهربائي لدائرة مفتوحة، و هو ما يساوي عدديا مقدار الشغل المبذول في تحريك وحدة الشحنة من القطب السالب نحو القطب الموجب في مجال

كهربائي معين، وحدتها هي الفولط (V) أو الجول /كولوم رمزها ε حيث:

$$\varepsilon = \frac{dw}{dq} \dots \dots (1 - 2)$$

W : الشغل المبذول ، q : الشحنة الكهربائية.

يوجد فرق بين القوة المحركة الكهربائية وفرق الجهد فالأول عبارة عن قوة محركة أو دافعة للجسيمات لدارة كهربائية مفتوحة، أما الثاني فهو انتقال للتيار الكهربائي بين نقطتين عند وجود موصل كهربائي يربط النقطتين أي أن الدارة مغلقة [25][16].

5- التأثيرات الكهروحرارية (Electrothermal Effects)

تتناول الآثار الكهروحرارية العلاقات المختلفة بين توليد القوة المحركة الكهربائية ووجود فرق في درجة الحرارة بالمادة نفسها، أو عند وصلة بين مادتين معدنيتين مختلفتين سواء في اتجاه معين أو في الاتجاه المعاكس له بالإضافة إلى تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية أو العكس، إذ تعتبر هذه الآثار أنها المصدر الأساسي للقوة الدافعة الكهروحرارية.

5-1- مفعول سيباك (Effect Seebeck)

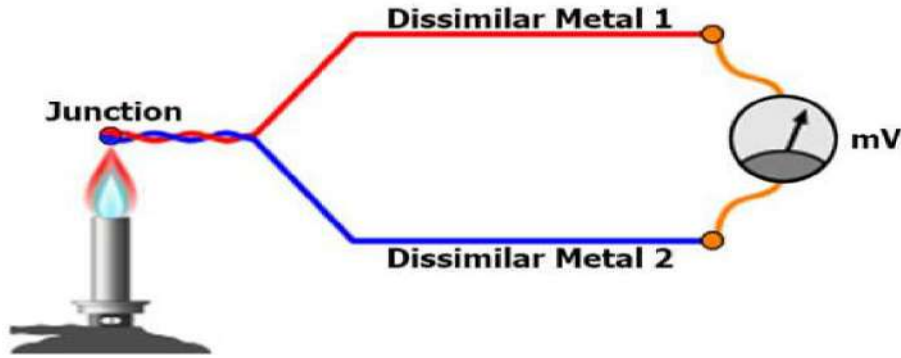
في عام 1821 أكتشف العالم سيباك إمكانية توليد قوة محركة كهربائية في دورة المزدوجة الحرارية المتكونة من مادتين مختلفتين عندما تكون الوصلات مربوطتان عند درجتين حراريتين مختلفتين كما هو موضح في الشكل 2-3 ، أي عند تسخين إحدى النهايتين المربوطتان فإنه يمر تيار مستمر عبرها فتتولد قوة محركة كهربائية تسمى بالقوة الدافعة الكهروحرارية، هذه الأخيرة تتناسب مع الفرق في تدرج درجة الحرارة بين الوصلتين [27][23].

نعتبر وصلة متكونة من معدنين A و B في درجتين حراريتين مختلفتين (T_2, T_1) على التوالي فتنشأ قوة محركة كهربائية V_T حيث:

$$V_T = S(T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2 - 2)$$

$$S = \frac{dV_T}{dT} \dots \dots \dots (3 - 2)$$

S هو معامل سيباك الذي يعرف بالقوة المحركة الكهروحرارية .



الشكل-2-3 : رسم تخطيطي يوضح مفعول سيبك

5-2- مفعول بيلتيه (Effect Peltier)

إكتشف العالم بيلتيه ظاهرة جديدة معاكسة لظاهرة سيبك أي عند إمرار تيار كهربائي ثابت خلال مزدوجة حرارية المتكونة من المعدن A و B تكون احد الوصلتين باردة إذ يمكنها امتصاص الحرارة من الوسط الخارجي ، بينما الوصلة الثانية ساخنة ويمكنها امتصاص أو طرد الحرارة نتيجة اختلاف في القوة الدافعة الكهربائية للمادتين نتيجة اختلاف اتجاه التيار الكهربائي المار بالوصلة كما هو موضح في الشكل-2-4 [18][28].

تسمى كمية الحرارة الناتجة بحرارة بيلتيه Q_p التي تتناسب مع شدة التيار الكهربائي I المار من خلال الوصلة وتعرف كالتالي:

$$Q_p = \Pi \cdot IT \dots \dots \dots (4 - 2)$$

ويعرف معامل بيلتيه بالعلاقة التالية:

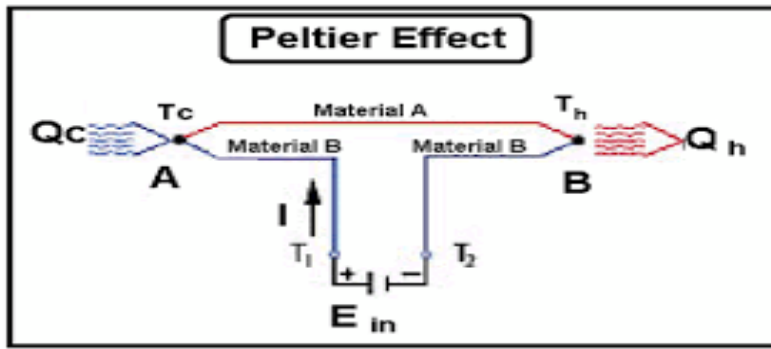
$$\Pi = (S_A - S_B)T \dots \dots \dots (5 - 2)$$

S_B و S_A القوة الدافعة الكهروحرارية للمادتين A و B.

T درجة الحرارة المطلقة للمادة A و B [23].

ونظرا لصغر كمية الحرارة التي تصاحب أثر بلتيه فإن من الصعب قياس معامل بلتيه قياسا دقيقا، لذلك يحسب عادة من علاقات كلفن باستعمال القيم التجريبية لمعامل سيبك، وقد دلت التجارب على أن معامل بلتيه مستقل عن شدة التيار ولا يتوقف إلا على طبيعة المادتين المكونة منها الوصلة (A و B) وعلى درجة الحرارة [25].

من الأجهزة التي يمكنها استخدام اثر بلتيه فيها الثلاجات والمكيفات الهوائية.



الشكل -2-4: رسم تخطيطي يوضح مفعول بيلتيه

5-3- مفعول طومسون (Thomson Effect)

في عام 1856 اكتشف العالم الفيزيائي طومسون أنه عند إمرار تيار كهربائي I ثابت خلال قضيب أو وصلتين

من نفس المعدن عند درجتى حرارة مختلفتين T_1 ، T_2 يحدث تدرج في الحرارة على طول القضيب كما $\frac{dT}{dx}$

يوضحه الشكل -2-5 ، حيث يتم امتصاص كمية حرارة أو تحرير كمية أخرى من طرفي القضيب أو

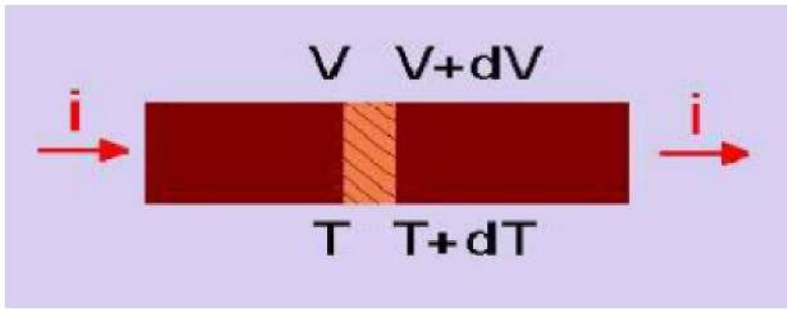
الوصلتين بالإضافة إلى الحرارة الناشئة عن المقاومة الكهربائية للقضيب، حيث ينتج عن هذا الأخير قوة محركة

كهربائية [23][27].

نرمز لكمية الحرارة الممتصة أو المحررة بحرارة طومسون بالرمز Q_T وهي عبارة عن الشغل المبذول ضد فرق الجهد وهي عكوسة، أي أن الوصلة تنقلب من ناشر للحرارة إلى ماص للحرارة عندما تتغير جهة التيار الكهربائي أو جهة تدرج الحرارة التي تسبب في توليد القوة المحركة الكهربائية حيث تكون ضعيفة جداً أين يصعب قياسها .

$$Q_T = \tau \cdot I(T_2 - T_1) \dots \dots \dots (6 - 2)$$

حيث يمثل τ معامل التناسب مع درجة حرارة المعدن و يسمى معامل طومسون.



الشكل -2-5: رسم تخطيطي يوضح مفعول طومسون

5-4- العلاقة بين مفعول سيبياك ومفعول بلتية ومفعول طومسون

تعرف هذه الظواهر الثلاثة بمعاملاتها معامل سيبياك معامل بلتية معامل طومسون، وذلك من أجل ناقل متجانس

في درجة حرارة ثابتة، وترتبط هذه المعاملات ببعضها البعض بعلاقات كلفن التي تؤدي إلى معرفة وحساب أحد

المعاملات بدلالة الآخرين لذلك يكفي بقياس أحد من المعاملات الثلاث [23] :

$$\Pi_{A/B} = T(S_A - S_B) \dots \dots \dots (7 - 2)$$

$$\tau_A - \tau_B = T \cdot \frac{d(S_A - S_B)}{dT} \dots \dots \dots (8 - 2)$$

6- الانتقال الإلكتروني (Electronic Transition)

تعرف حركة الإلكترونات داخل المادة على أنها كمية ترتبط بسرعة الجر (انحراف الإلكترونات) والحقل الكهربائي المسلط على المادة، حيث تتوزع الإلكترونات في حزم طاقوية كما هو معروف، فعند درجة حرارة الصفر المطلق لا تستطيع الإلكترونات التحرك خلال البلورة (المادة) لأن جميعها مرتبطة بشدة إلى ذراتها وبالتالي فإنها تملأ حزمة التكافؤ من أوطأ مستوى إلى أعلى مستوى من الطاقة، وبعبارة أخرى فإن حزمة التوصيل عند درجة حرارة الصفر المطلق تكون فارغة وهذا يعني أنه لا يوجد طاقة كافية عند أي إلكترون لكي ينتقل في حزمة التوصيل، ومن جهة أخرى عند ارتفاع درجة الحرارة فوق الصفر المطلق فإن الطاقة الحرارية التي سوف تكتسبها الإلكترونات ستمكن بعض من هذه الأخيرة من الإفلات من ذراتها والانتقال إلى حزمة التوصيل، حيث تستطيع هناك التحرك في مدارات ذات أنصاف أقطار أكبر ويكون ارتباط هذه الإلكترونات بالذرات ضعيفا عندما تكون في حزمة التوصيل فعند تسليط فرق جهد عبر الموصل فإنه سوف يتولد مجالا كهربائيا داخل الموصل يعمل على تعجيل الإلكترونات الحرة في حزمة التوصيل بسبب القوة التي تتعرض لها [17][25].

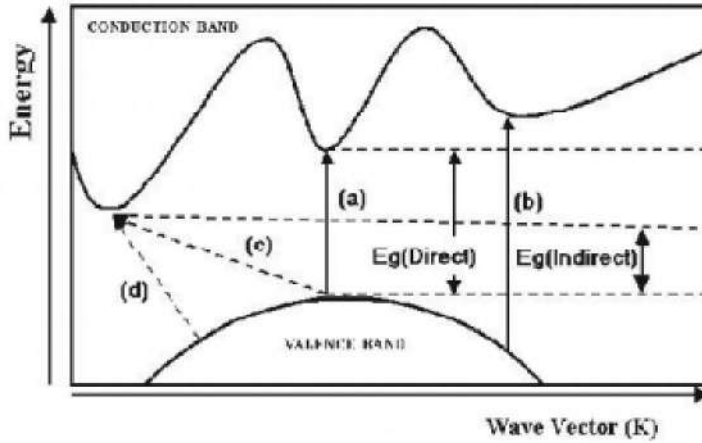
6-1- الانتقال الإلكتروني المباشر

في أنصاف النواقل ذات الفاصل الطاقوي المباشر هناك نوعان من الانتقالات الإلكترونية. فعند انتقال الإلكترون من قمة حزمة التكافؤ إلى قعر حزمة التوصيل عند النقطة نفسها، يسمى هذا الانتقال بالانتقال المباشر المسموح. وعندما يكون الانتقال من المناطق المجاورة للانتقال المباشر المسموح عندها يسمى الانتقال انتقالا مباشرا ممنوع [22][24].

6-2- الانتقال الإلكتروني الغير مباشر

يحصل الانتقال الغير مباشر للإلكترونات عند عدم تطابق طاقتي قمة التكافؤ مع قعر حزمة التوصيل، بحيث يكون

الانتقال بين نقطة في حزمة التكافؤ وأي نقطة في حزمة التوصيل بصورة غير عمودية وتدعى أنصاف النواقل التي تمتلك هذه الانتقالات بأنصاف النواقل ذات الفجوة الغير مباشرة. وهذه الانتقالات تنقسم إلى نوعين كذلك، فالنوع الأول يكون عندما ينتقل الإلكترون من أعلى نقطة في حزمة التكافؤ وأوطأ نقطة في حزمة التوصيل وبصورة غير عمودية ويسمى عندها بالانتقال غير مباشر مسموح. أما النوع الثاني فيكون عندما ينتقل الإلكترون من المناطق المجاورة لأعلى نقطة في حزمة التكافؤ إلى أوطأ نقطة في حزمة التوصيل وبصورة غير عمودية ويسمى بالانتقال المباشر الممنوع [22][24]. ولدينا الشكل 2-6 الموالي يوضح أنواع الانتقال الإلكتروني.



(a) مباشر مسموح، (b) مباشر ممنوع، (c) غير مباشر مسموح، (d) غير مباشر ممنوع.

الشكل 2-6: يوضح أنواع الانتقال الإلكتروني

7- خصائص النواقل

الناقل هو كل مادة صلبة أو سائلة تسمح بمرور التيار الكهربائي عبره، إذ له خصائص تميزه عن بقية المواد التي يتم

استغلالها من أجل العديد من التطبيقات و المتمثلة في مايلي :

7-1- الناقلية الحرارية (Termal Conductivity)

هي خاصية تميز المادة التي تشير إلى قابليتها لنقل الحرارة، يرمز لها بالرمز (λ) وتقاس هذه الخاصية بـ ($w/m.k$) (الواط/متر.كلفن)، فالحرارة التي تسري في الجسم الصلب هي إنتقال الالكترونات الحرة إنتقالا فيزيائيا أين يحدث ذلك باهتزازات الذرات والجزيئات، فعندما تتساوى درجات الحرارة في جميع نقاط الجسم الصلب تتوقف حركة الالكترونات وتتساوى كذلك درجة حرارة المحيط. تختلف الناقلية الحرارية من مادة إلى أخرى فالنسبة للمعادن تكون جيدة مثل النحاس والحديد [14][19].

7-2- الناقلية الكهربائية (Electric Conductivity)

هي قدرة المادة على نقل التيار الكهربائي وتمثل نسبة كثافة التيار J الكهربائي إلى شدة الحقل الكهربائي E ، يرمز لها بالرمز σ ، فالمواد التي تتميز بمقاومة كهربائية عالية تكون نواقل رديئة. والمواد ذات المقاومة الكهربائية منخفضة تكون نواقل جيدة [19].

- تتأثر الناقلية الكهربائية بعدة معاملات (التركيب البلوري للمواد، درجة الحرارة، التركيب الكيميائي

(....، [1]).

- توجد علاقة وطيدة بين الناقلية الكهربائية والتأثير الحراري، فعند وجود تدرج في درجة الحرارة في مادة موصلة يولد فيها كثافة إلكترونية (وجود نقل للإلكترونات) وبالتالي حتما سوف تكون هناك ناقلية كهربائية أما الناقلية الحرارية فهي ناتجة عن وجود التدرج في فرق الكمون (التأثير الكهربائي) للمادة الموصلة الذي ينتج عنه كثافة التدفق الحراري في المادة الموصلة.

7-3- المقاومة الكهربائية (Electrical Resistance)

تعرف المقاومة الكهربائية على أنها نسبة فرق الجهد U بين طرفي العينة إلى شدة التيار الكهربائي I المار من

خلالها، ويرمز لها بالرمز R وحدتها الأوم (Ω). [22]

وتعطى بالعلاقة التالية:

$$R = \frac{U}{I} \dots \dots \dots (9 - 2)$$

7-4- المقاومة الكهربائية Electrical Resistivity

هي خاصية فيزيائية تمثل مقياس لمدى قوة المادة لتعارض تدفق التيار الكهربائي أثناء مروره بالموصل، حيث تحول الطاقة الكهربائية إلى حرارية أو ضوئية أو أشكال أخرى من أشكال الطاقة وهي مقلوب الناقلية يرمز لها بالرمز ρ ، وحدتها (Ω/m) [1][22].

لنفرض لدينا موصل طوله L ومساحة مقطعه S ومقاومته الكهربائية R . تعطى العلاقة بين المقاومة و المقاومة الكهربائية كالتالية :

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \dots \dots \dots (10 - 2)$$

$$\rho = 1/\sigma \dots \dots \dots (11 - 2)$$

حيث :

σ تمثل الناقلية الكهربائية للموصل .

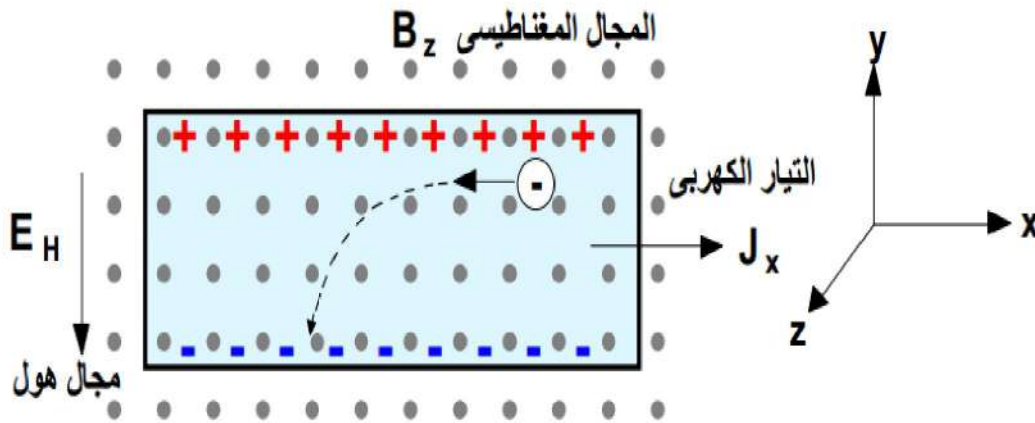
تتأثر قيمة المقاومة الكهربائية بعوامل تلخص في مايلي :

- درجة الحرارة : عند ارتفاع في درجات الحرارة يزيد احتمال اصطدام الكثرونات النقل الحرة بذرات المادة .
- وجود العيوب البلورية والشوائب
- طبيعة المعدن الموصل .

-الإشعاعات الكهرو مغناطيسية :عند تطبيق مجال مغناطيسي يتم تسريع الالكترونات اتجاه القطبين هذا ما يؤدي إلى تناقص المقاومة في الموصل [25][22] .

7-5- تأثير هول Hall's Effect

هو ميل حاملات الشحنة سواءا كانت موجبة (الثقوب) أو سالبة (الالكترونات) للانزياح نحو الأطراف في الموصلات الكهربائية بسبب تطبيق مجال مغناطيسي عمودي على إتجاه تدفق التيار الكهربائي الذي ينشأ عنه فرق جهد يسمى جهد هول V_H بين الاقطاب المتعاكسة في الموصل الكهربائي و الشكل 2-7 يوضح ذلك، بحيث تعتمد قطبيه على إشارة حاملات الشحنة المزاحة تحت تأثير قوة لورنتز [1][20].



الشكل 2-7: رسم تخطيطي يوضح تأثير هول

الفصل الثالث

التركيب التجريبي
والنتائج التجريبية
و مناقشة النتائج

مقدمة

لقد اعتمدنا في دراستنا هذه حول السبيكة الابلورية $Fe_{73.6}Nb_{2.4}Cu_1Si_{15.8}B_{7.2}$ تم تحضيره بطريقة Meltsponing في مخبر بألمانيا، حيث تمت الدراسة المخبرية لقياس المقاومة الكهربائية و القدرة الكهروحرارية أو ما يسمى بمعامل سيباك بمخبر للمواد المكثفة بجامعة ماتز الفرنسية، عملية قياس الخصائص الكهروحرارية للسبيكة المدروسة بدلالة درجات حرارة مختلفة تمت في نفس الزمن وبنفس الشروط التجريبية، وذلك باستخدام تركيب تجريبي تلقائي يسمح لنا بتحديد خصائص تغيرات الطور والخصائص الفيزيائية للسبيكة بالإضافة إلى اعتماد برنامج Labview المعروف عند الباحثين، و الذي يسهل علينا التحكم في تغيير الشروط التجريبية بالإضافة إلى القياس بدقة عالية لدراسة الخصائص التجريبية للمعادن والسبائك المعدنية المراد تحقيقها مع تولى حفظ النتائج المتحصل عليها في حاسوب البرمجة .

1- الجانب التجريبي

1-1- التعريف بالعينة

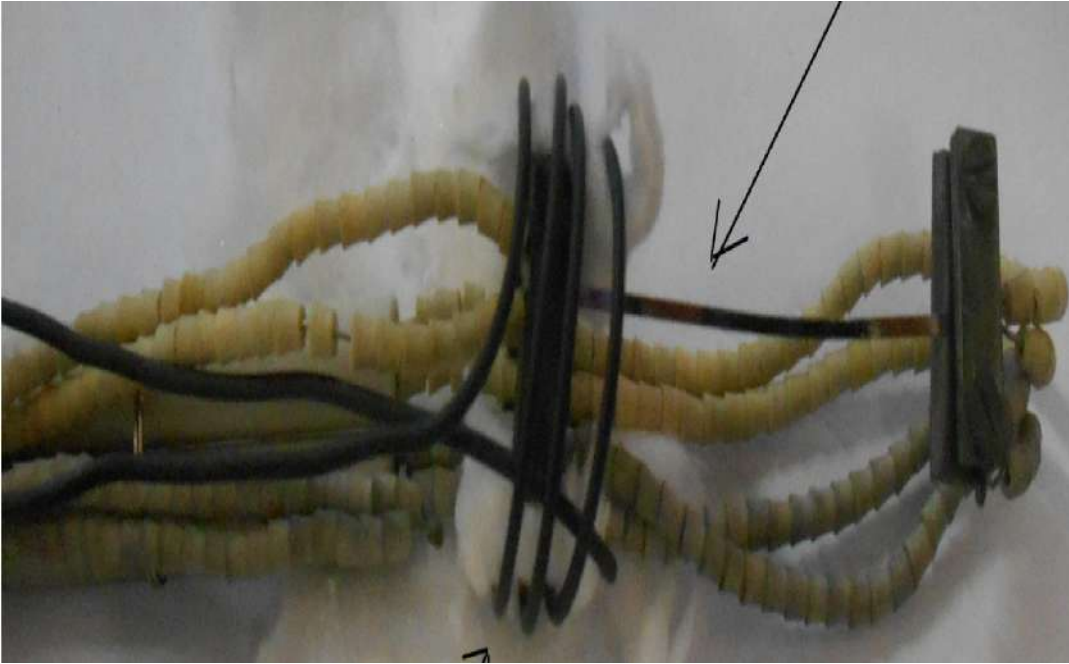
العينة هي سبيكة معدنية لابلورية وهي عبارة عن شريط معدني يتكون من معدن الحديد Fe، النيوبيوم Nb، النحاس Cu ، السليكون Si ، البورون B.



الشكل 1-3: صورة للعينة قبل المعالجة

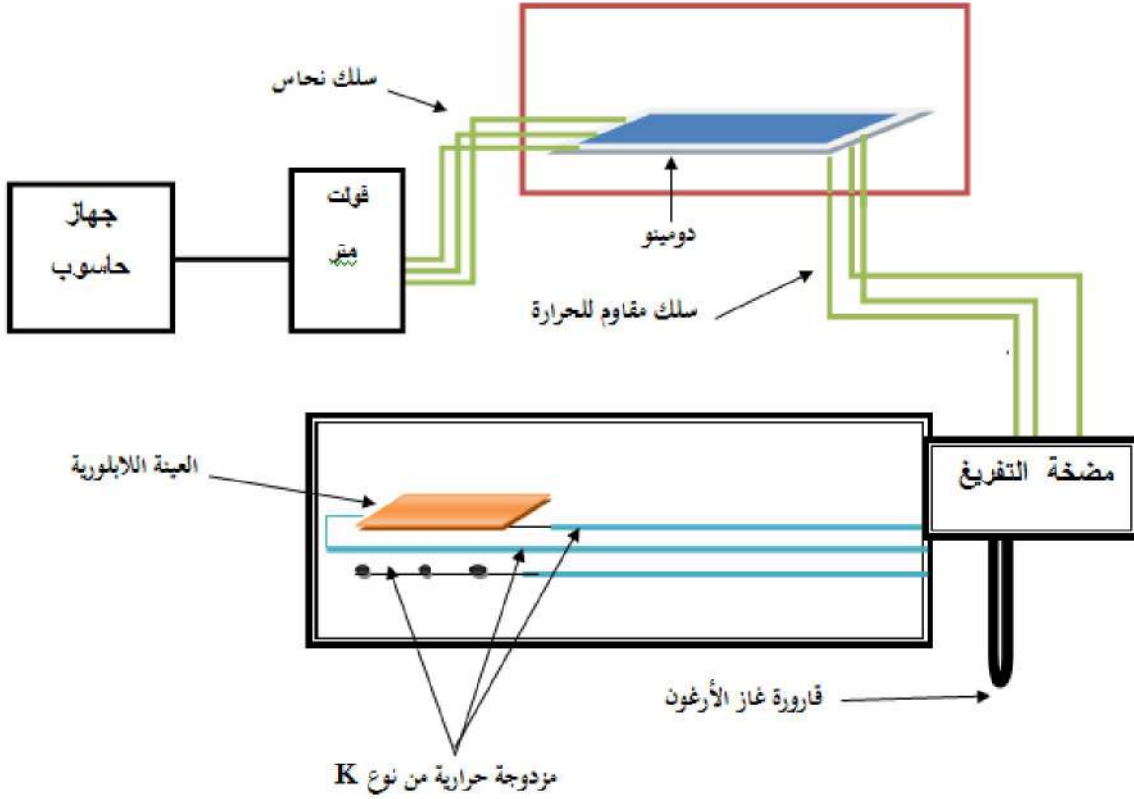
1-2- طريقة العمل

تمت التجربة بواسطة فرن خاص درجة حرارة تحمله 1000°C ، أين تم وضع سبيكة في شروط تجريبية محددة إذ تم تغيير درجة حرارة الفرن من درجة حرارة الغرفة 25°C إلى درجة حرارة 785°C وذلك باستخدام المزوج الحراري في كل مراحل التجربة، حيث تعتمد هذه الطريقة في القياس على استحداث الفرق في درجات الحرارة على طرفي العينة (السبيكة) بعدما تم ربطها بمسخن حراري بأحد أطرف العينة والطرف الآخر مربوط بنقطة مرجعية. يولد التدرج الحراري قوة دافعة كهربائية بحيث تظهر على شكل فرق في الجهد على طرفي العينة المدروسة وبالتالي يمكننا معرفة قيمة معامل سيبك بين طرفي العينة. أما عن قياس المقاومة الكهربائية للسبائك فيعتمد مبدأ هذه الطريقة على تحديد مقاومة عينة بواسطة الفولط متر الكلاسيكي الذي يقوم بقياس الفرق في الكمون بين طرفي المقاومة المجهولة R_m مع ربطها بمقاومة مرجعية R_e ربطا متسلسلا أين ما يمر التيار الكهربائي عبرها.



الشكل 2-3: صورة للعينة أثناء المعالجة

3-1- التركيب التجريبي



الشكل 3-3: رسم تخطيطي للتركيب التجريبي

تم استخدام برنامج **Labview** الجديد في هذا العمل التجريبي الذي يسهل عملية القياس وذلك بترجمته للمعطيات إلى منحنيات لتسهيل قراءتها وتفسيرها، إضافة إلى استعمال الأنظمة الحديثة مثل نظام **XP** و **Kheihley** بدلا من الأنظمة السابقة.

Kheihley: هو جهاز متعدد القياسات (الفولط متر، أمبيرو متر، أوم متر،.....).

فالتركيب التجريبي الذي تم استعماله موضح في (الشكل 3-3)، فهو يتكون من عدة أجهزة نعرفها كمايلي:

- فرن حراري: وهو فرن تم تركيبه في المخبر الفرنسي (جامعة ماتز) يمكننا استعماله لقياس المقاومة الكهربائية

و الاستطاعة الكهروحرارية (PTA) للسبائك مع توفر فيه الشروط التجريبية اللازمة لدقة التجربة والنتائج كالأستقرار الحراري.

يتكون الفرن المستخدم في الدراسة من أنبوب مركزي مصنوع من مادة مقاومة لدرجة الحرارة، هذه المادة محاطة بأسلاك من العناصر الساخنة (Les éléments chauffants) والكل محاط بأنبوب أكبر من الأول ثم أنبوب ثالث مصنوع من حديد (Acier) أكبر من الأول والثاني، فدرجة حرارة تحمل الفرن تصل إلى 1000°C صالحة من أجل قياس كل الخصائص الكهروحرارية للسبيكة المدروسة.

- مضخة التفريغ: استعملت من أجل إزالة جميع الغازات والشوائب المتواجدة حول العينة (السبيكة) تفاديا لأي تفاعل خارجي كالأكسدة عند الارتفاع في درجات الحرارة.

- قارورة غاز الأرجون (Argon): هو غاز خامل ولعدم تفاعله مع العينات استعمل في تفريغ الأنبوب المصنوع من الكوارتز.

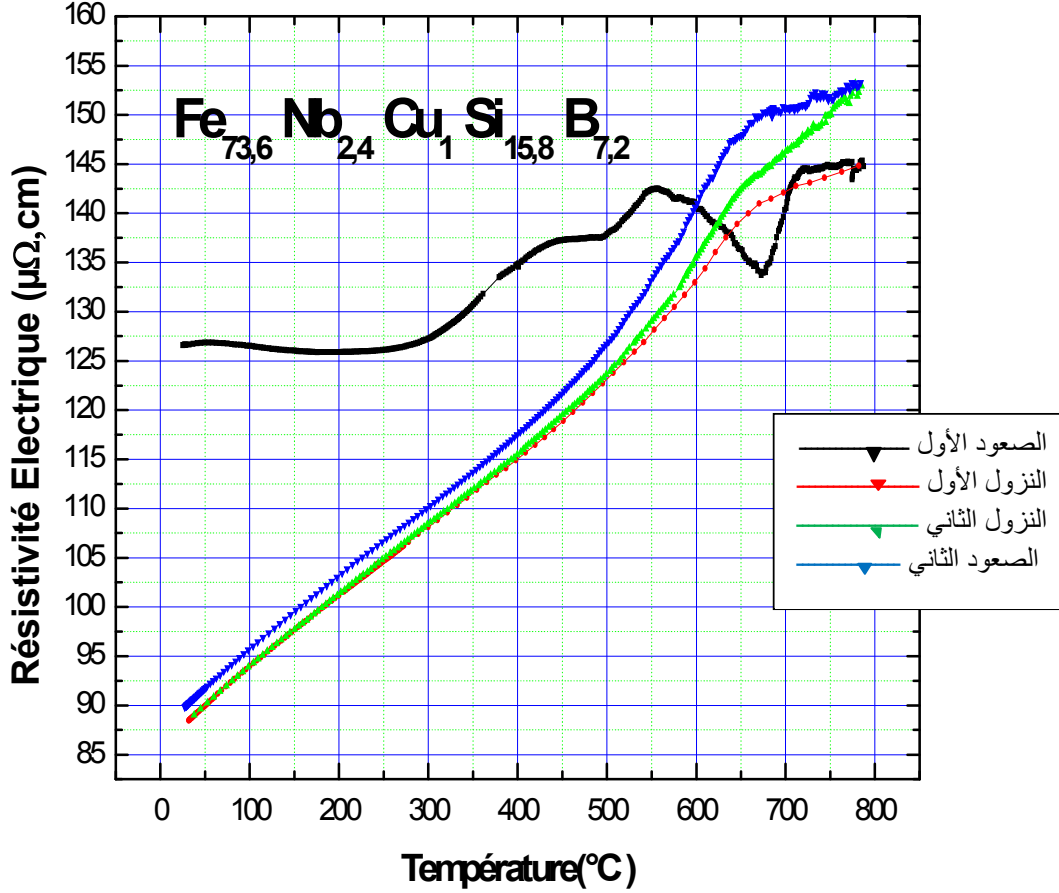
- عاكس اتجاه التيار: جهاز صنع في المخبر الهدف منه تغيير اتجاه التيار الكهربائي عند مروره عبر العينة في عملية قياس المقاومة الكهربائية وذلك لإجراء عملية مسح للاتجاهين.

- المزدوجة الحرارية: تتكون عادة من سلكين مصنوعين من مادتين معدنيتين كالكروم والألمنيوم، بحيث يكون السلكين مربوطين في نهايتهما فقط، إذ تعتبر المصدر الرئيسي لتوليد القوة الدافعة الكهربائية نتيجة الاختلاف في درجتي الحرارة للنهائيتين المتصلتين.

وللتحكم في ضغط غاز الأرجون استعملت مجموعة من النانو متر مع مولد تيار كهربائي بالإضافة إلى جهاز الحاسوب لتتبع مراحل التجربة والتحكم فيها.

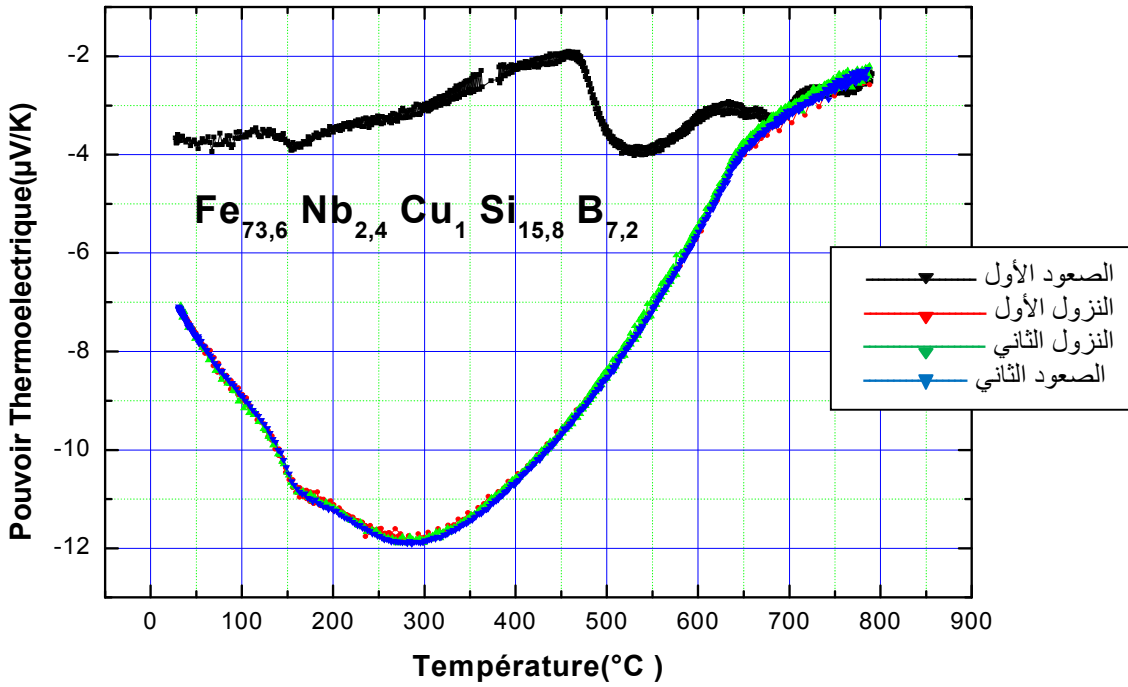
2- النتائج المتحصل عليها

من خلال التجارب التي قمنا بها تحصلنا على النتائج التالية الموضحة في الشكلين (3-4) و(3-5) التاليين :



الشكل 3-4: منحنى المقاومة الكهربائية لسبيكة $\text{Fe}_{73.6}\text{Nb}_{2.4}\text{Cu}_1\text{Si}_{15.8}\text{B}_{7.2}$

بدلالة درجة الحرارة



الشكل 3-5 : منحني معامل سيبيك لسبيكة $Fe_{73.6}Nb_{2.4}Cu_1Si_{15.8}B_{7.2}$

بدلالة درجة الحرارة

من خلال البيانات الموضحة في الشكل (3-4) والشكل (3-5) والتي تمثل أربع منحنيات لكلا الشكلين

بألوان مختلفة نتيجة تغيير في درجة الحرارة من الدرجة العادية $25^{\circ}C$ إلى $785^{\circ}C$ بخطوة $0.5^{\circ}C/min$

(، فالنسبة للون الأسود يمثل الصعود الأول والأحمر النزول الأول والأزرق الصعود الثاني والأخضر النزول الثاني .

1-2 - ترجمة منحني المقاومة الكهربائية لسبيكة



لاحظنا في الصعود الأول عند درجة الحرارة العادية $25^{\circ}C$ أن قيمة المقاومة الكهربائية في البداية تقدر

بـ $127\mu\Omega/cm$ ، ثم بدأت قيمة المقاومة الكهربائية بالارتفاع الطفيف إلى أن نلاحظ انخفاض نسبي للمقاومية الكهربائية إلى $126\mu\Omega/cm$ مع وجود ثبوت لمنحنى المقاومة الكهربائية إلى غاية درجة الحرارة $250\text{ }^\circ\text{C}$ ، ثم نسجل ارتفاع للمقاومية الكهربائية إلى غاية $137\mu\Omega/cm$ عند درجة حرارة $440\text{ }^\circ\text{C}$ أين نلاحظ أول تغير في طور العينة المدروسة محدثا ثبوتا نسبيا في المقاومة الكهربائية إلى غاية درجة حرارة $500\text{ }^\circ\text{C}$ ثم بعد ذلك نلاحظ ارتفاع المقاومة الكهربائية نحو $142.5\mu\Omega/cm$ عند درجة حرارة $550\text{ }^\circ\text{C}$ أين تبين لنا عندها التغير الثاني في الطور محدثا بعدها انخفاضا في المقاومة الكهربائية إلى $134\mu\Omega/cm$ عند درجة حرارة $675\text{ }^\circ\text{C}$ ، مع مواصلة الارتفاع في درجات الحرارة سجل ارتفاعا في قيمة المقاومة الكهربائية نحو $145\mu\Omega/cm$ عند درجة حرارة $725\text{ }^\circ\text{C}$ الذي كان سببه التغير الثالث في الطور عند درجة حرارة $675\text{ }^\circ\text{C}$ مع ملاحظة ثبوت في منحنى المقاومة الكهربائية إلى غاية درجة الحرارة $785\text{ }^\circ\text{C}$. نقوم بتبريد العينة المدروسة حفاظا عليها من الإلتلاف من درجة حرارة $785\text{ }^\circ\text{C}$ إلى درجة الحرارة العادية بنفس الخطوة، فنلاحظ منحنى النزول الأول للمقاومية الكهربائية من $145\mu\Omega/cm$ إلى $88\mu\Omega/cm$ عند درجة الحرارة العادية أي أنها لم تعد إلى قيمتها الابتدائية وهذا ما يمكن تفسيره بوجود تغير بنيوي للعينة، وللتأكد من ذلك نعيد الرفع في درجة الحرارة فنلاحظ منحنى الصعود الثاني أنه موازي مع منحنى النزول الأول بارتفاع قيمة المقاومة الكهربائية إلى $152.5\mu\Omega/cm$ عند درجة حرارة $785\text{ }^\circ\text{C}$ ، فنعيد تبريد العينة للمرة الثانية الذي يوضحه منحنى النزول الثاني فنلاحظ نزول موازي للمنحنى النزول الأول والصعود الثاني بانخفاض قيمة المقاومة الكهربائية إلى $90\mu\Omega/cm$ عند درجة حرارة الغرفة، هذا الأخير الذي يمكننا من الجزم بعدم عودة منحنى قيم المقاومة الكهربائية على مساره الأول (اللون الأسود) و أن العينة المدروسة كذلك لم تبقى على حالتها اللابلورية فهي قد انتقلت إلى الحالة البلورية.

2-2- ترجمة منحني معامل سيبياك لسبيكة $Fe_{73.6}Nb_{2.4}Cu_1Si_{15.8}B_{7.2}$

نلاحظ أن أول قيمة يأخذها معامل سيبياك في منحني الصعود الأول تقدر بـ $3.75\mu V/K$ بإشارة سالبة وذلك عند درجة الحرارة العادية، ثم يبدأ معامل سيبياك بالارتفاع النسبي إلى غاية $3.5\mu V/K$ عند درجة حرارة $125\text{ }^\circ C$ التي عندها انخفض معامل سيبياك إلى $3.8\mu V/K$ وهذا ما يمكن تفسيره بكون عدم تمكن البرنامج من تصحيح الخطأ الناتج عن بداية تسخين الفرن للعينة، بعد ذلك يرتفع معامل سيبياك نحو $2\mu V/K$ عند درجة الحرارة $475\text{ }^\circ C$ أين كانت بداية تغيير في الطور البنيوي للعينة محدثا انخفاضا سريعا ومفاجئا لمعامل سيبياك إلى $4\mu V/K$ عند درجة الحرارة $525\text{ }^\circ C$ إلى أن نسجل ارتفاع ثاني لمعامل سيبياك نحو $3\mu V/K$ عند درجة الحرارة $625\text{ }^\circ C$ الذي يوضح لنا وجود تغير ثاني للطور عند درجة الحرارة $525\text{ }^\circ C$ ، بعد القيمة $3\mu V/K$ ينخفض معامل سيبياك نسبيا إلى $3.3\mu V/K$ عند درجة الحرارة $675\text{ }^\circ C$ ، ثم يرتفع معامل سيبياك مرة أخرى إلى $2.3\mu V/K$ عند درجة الحرارة مع استمرار منحني معامل سيبياك في الارتفاع إلى أن يأخذ القيمة $2.7\mu V/K$ عند درجة الحرارة $785\text{ }^\circ C$ هذا الأخير ما نفسره بالتغير الثالث في الطور، بعد تبريد العينة فنلاحظ من خلال منحني النزول الأول لمعامل سيبياك أن قيمته انخفضت من $2.7\mu V/K$ عند $785\text{ }^\circ C$ إلى $11.9\mu V/K$ عند حوالي درجة حرارة $290\text{ }^\circ C$ فعند هذه الدرجة عاد الارتفاع التدريجي لمعامل سيبياك نحو $7\mu V/K$ إلا أنه لم يصل إلى القيمة التي بدأ بها، بعد الرفع من درجة الحرارة كما هو موضح في منحني الصعود الثاني الذي ينطبق مع منحني النزول الأول والنزول الثاني أي أن مسار منحني معامل سيبياك لم يعد على مساره الأول (اللون الأسود) ، و هذا ما يفسر بأن العينة المدروسة انتقلت من الحالة اللابلورية إلى الحالة البلورية.

2-3 - المقارنة بين منحني المقاومة الكهربائية ومنحني معامل سيبياك بدلالة

درجة الحرارة

من خلال مقارنة نتائج المقاومة الكهربائية ونتائج معامل سيبياك الموضحة في الشكلين (3-4 ، 3-5) ، تبين لنا أن هذين المنحنيين حدث لهما ثلاث تغيرات في الأطوار عند نفس مجالات درجات الحرارة تقريبا، فالتغير الأول كان بين درجتَي الحرارة $[440\text{ }^\circ C$ و $475\text{ }^\circ C$] عند درجة الحرارة $440\text{ }^\circ C$ بالنسبة لمنحني

المقاومية الكهربائية تقريبا فعند هذه الدرجة تثبت المقاومة الكهربائية نسبيا أما معامل سيباك كان عند درجة الحرارة 475°C فينخفض إلى غاية درجة الحرارة 525°C ، و للمقاومية الكهربائية تنخفض وصولا إلى درجة حرارة 500°C ، فنظرا لتقارب درجات الحرارة بين تغير معامل سيباك و المقاومة الكهربائية نعتبر التغير الثاني في الطور هو الحاصل بين هاتين الدرجتين الحراريتين، بعد ذلك نلاحظ عند درجة الحرارة 675°C التغير الثالث للطور محدثا ارتفاع لكلا المقدارين الفيزيائيين مع وجود انعرجات بالنسبة لمنحنى معامل سيباك إلى غاية وصولهما لدرجة حرارة 785°C . قمنا بتبريد العينة فلاحظنا نزول تدريجي و مستقيم بالنسبة لمنحنى المقاومة الكهربائية ونزول تدريجي منحنى بالنسبة لمنحنى معامل سيباك لكن كلاهما لم يعودا إلى نفس القيمة الابتدائية، وهذا ما نفسره بأن العينة أصبحت ذات بنية بلورية صرفة دون الرجوع إلى الحالة الابتدائية، وهذا ما يؤكد منحنيات التبريد والتسخين التي تأخذ نفس مسار الصعود والنزول مع عدم وجود تغير في الطور، أما عن تفسير تشابه المنحنيات وتقارب قيم درجات الحرارة المتماثلة بالتقريب عند تغير الأطوار إلى أن التجربة تمت في نفس الشروط التجريبية وفي نفس الزمن .

خلاصة عامة

من خلال التجارب التي تطرقنا إليها في هذا العمل المتمثل في دراسة التغير الطوري لسبيكة ($\text{Fe}_{73.6}\text{Nb}_{2.4}\text{Cu}_1\text{Si}_{15.8}\text{B}_{7.2}$) بواسطة قياس المقاومة الكهربائية و معامل سيبك في درجات حرارة مختلفة، أين تمكنا من تحديد درجات الحرارة التي حدثت عندها تغيرات في الطور ومنه تغيرات في البنية، أين تحصلنا على ثلاث تغيرات طورية وفي درجات حرارة مختلفة للعينة المدروسة (فالتغير الأول في المجال 440°C و 475°C والثاني $[525^\circ\text{C}$ و 550°C] والثالث عند درجة حرارة 675°C)، فلاحظنا عند درجة حرارة الغرفة أن قيمة المقاومة الكهربائية قدرت بـ $127\mu\Omega/\text{cm}$ ، وعند تغيير درجة الحرارة إلى 785°C التي أدت إلى ارتفاع المقاومة الكهربائية إلى $152.5\mu\Omega/\text{cm}$ ، تمت عملية التبريد أي خفض في درجة الحرارة مجدداً إلى غاية الدرجة الابتدائية لتصل قيمة المقاومة الكهربائية $90\mu\Omega/\text{cm}$. كذلك نفس الملاحظة مع تغير معامل سيبك بدلالة تغير درجة الحرارة حيث قدرت القيمة الابتدائية له بـ $3.75\mu\text{V}/\text{K}$ بإشارة سالبة ثم ارتفع إلى القيمة $2.7\mu\text{V}/\text{K}$ عند درجة الحرارة 785°C بعد ذلك نلاحظ انخفاضاً لمعامل سيبك إلى $11.9\mu\text{V}/\text{K}$ عند درجة حرارة 290°C إلى أن نلاحظ ارتفاع معامل سيبك نحو نقطة البداية بالقيمة $7\mu\text{V}/\text{K}$ ، و في الأخير يمكن تفسير هذه النتائج بتغيير البنية البلورية للعينة المدروسة إلى بنية بلورية كما استنتجنا أن عملية تبلور السبيكة حدثت بين درجتي الحرارة $[25^\circ\text{C}$ و 785°C].

قائمة المراجع

- [1] د. سعود بن حميد الليحاني، فيزياء الجوامد.
- [2] د. عبد الفتاح أحمد الشادلي، فيزياء الجوامد (الجزء الأول).
- [3] د. يسري مصطفى، فيزياء الحالة الصلبة، الباب الخامس، حيود الأشعة السينية في البلورات، نوفمبر 2015.
- [4] غادة غازي، تقنيات سباكة المعادن والاستفادة من معطياتها 2006.
- [5] د. أحمد محمد غازي عطية، جيولوجيا الخامات والمعادن، قسم علوم الأرض التطبيقية 2018.
- [6] جامعة الأندلس الخاصة للعلوم الطبية، المحاضرة السادسة.
- [7] د. عماد محمد إبراهيم الخليل، علم المعادن، مصر 2014 .
- [8] سلسلة محاضرات فيزياء الجوامد، جامعة الطائف.
- [9] د. مصطفى كمال محمد يوسف، فيزياء المعادن و تكنولوجيا السبائك.
- [10] جودي محمد حسن، فنون وأشغال المعادن ، دار المسيرة للنشر والتوزيع ،الأردن 1996.
- [11] سحر داود ، عبد المنعم غانم، المعهد التقني/ جامعة الموصل، قسم الميكانيك ، السباكة.
- [12] د. العلمي رشيد، مبادئ انتقال الحرارة بالتوصيل الحراري (الجزء الأول).
- [13] د. إياد محمود الداووك، مبادئ انتقال الحرارة.
- [14] د. ماهر شعيرة ، محمد سليمان يوسف ، مجلة جامعة البعث، المجلد 38، العدد 12، 2016.
- [15] د. أحمد فتحي. أسس إنتقال الحرارة
- [16] صلاح الدين شعبان، تكنولوجيا الكهرباء.
- [17] دراسة التوصيلية الكهربائية الفائقة في المواد والتطبيقات، محمد حسن مالك، محمد قاسم حسين، جامعة القادسية 2017.
- [18] د. محمد رأفت عبد الهادي، نظريات التبريد الكهروحراري 2001.

- [19] مذكرة ماستر أكاديمي نوحه راوية (ارتباط الناقلية الكهربائية بترددات الحقول الكهرومغناطيسية في النواقل) ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2011.
- [20] د. يسري مصطفى، فيزياء الحالة الصلبة، الباب الثامن، نظرية الالكترون الحر في الفلزات، نوفمبر 2015.
- [21] د. عمر حامد محمد عبد القادر ، التحضيرات المجهرية مقرر 261-262 ، الجزء العملي، كلية العلوم، قسم علم الحيوان، جامعة الملك سعود 2012 .
- [22] مذكرة ماستر أكاديمي، بومعزة مارية (قياس المقاومة الكهربائية بدلالة درجة الحرارة لسبيكة $Cu_{50}Zr_{45}Al_5$) ، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2016 .
- [23] مذكرة ماستر أكاديمي، حميدات نسرين، صحراوي مليكة (قياس معامل سيبك بدلالة درجة الحرارة لسبيكة $Cu_{50}Zr_{45}Al_5$)، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017.
- [24] مذكرة ماستر أكاديمي، عوينات بشيرة (دراسة الخصائص الضوئية لبلورات Si, Ge, SiC, GeC)، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2016.
- [25] مذكرة ماستر أكاديمي، زكور كلثوم (دراسة الخصائص الكهروحرارية لسبيكة $Cu_{47.5}Zr_{47.5}Al_5$)، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018.
- [26] د. نجوى عارف، المجهر الالكتروني، قسم الدراسات العليا، جامعة الملك سعود.

[27] Contribution à l'étude des propriétés thermoélectriques de vitrocéramiques et verres de chalcogénures semi-conducteurs. Jean-Baptiste Vaney. UNV. DELORRAINE. 2014.

[28] Etude des propriétés mécaniques et thermoélectriques des matériaux $Ca_3CO_4O_9$ texturés la convrsion d'énergie. Driss KENFAUI. UNV. DE CAN. Français. 2010.

[30] <http://www.e-onec.com>

الملخص

أعطى قياس المقاومة الكهربائية والقوة الدافعة الكهروحرارية لسبيكة

$\text{Fe}_{73.6}\text{Nb}_{2.4}\text{Cu}_1\text{Si}_{15.8}\text{B}_{7.2}$ في درجات حرارة مختلفة [من 25°C إلى 785°C]

نتائج مهمة حول علاقة المقاومة الكهربائية و معامل سيبك بدرجة الحرارة، بالإضافة إلى وجود ثلاثة

أطوار بنيوية للعينة المدروسة، ودرجات الحرارة التي يحدث عندها تغير الطور البنيوي للعينة، مع استنتاج

انتقال العينة من الحالة اللابلورية إلى الحالة البلورية الأكثر استقراراً.

الكلمات المفتاحية: السبائك، بلورية، لابلورية، المقاومة الكهربائية، التأثيرات الكهروحرارية.

Abstract

It is noted that the measurement of the electrical resistivity and the electrothermal force (Seebeck coefficient) of the alloy $\text{Fe}_{73.6}\text{Nb}_{2.4}\text{Cu}_1\text{Si}_{15.8}\text{B}_{7.2}$ under different temperatures from [25°C to 785°C] gave important results about the relation between the electrical resistivity, Seebeck coefficient and the temperature. In addition, it existed three structural phases of the studied sample and the temperature in which it happened the changes, and removal of the sample structural phase from amorphous state to the most stable crystalline one.

Key words : Alloys, Crystal, amorphous, electrical Resistivity, Electrothermal effects.