المجلة العراقية للفيزياء، المجلد (١)، العدد (١)، صفحات ١-٧، كانون الأول ٢٠٠٢

القدرة الكهروحرارية في المركبات Fe-Mn-Al المغناطيسية

كاظم احمد محمد
قسم الفيزياء-كلية التربية
جامعة الموصل

سلوان كمال العاني
قسم الفيزياء-كلية العلوم
الجامعة المستنصرية

صبري جاسم محمد
قسم الفيزياء-كلية التربية
جامعة تكريت

الخلاصة:

تم في هذا البحث القيام بقياس القدرة الكهروحرارية بوصفها دالة لدرجة الحرارة لعينات سبيكة الحديد-منغنيز-ألمنيوم، التي يدخل فيها عنصر المنغنيز بوصفها مادة مضافة للتراكيز المخففة المساوية الى 0.04 و 0.06 و 0.08 و 0.10 و 0.20 في مدى درجات الحرارة 300 K الى 500 K. بينت نتائج هذه الدراسة أن معامل القدرة الكهروحرارية يزداد في العينات جميعها بزيادة كل من درجة الحرارة وتركيز عنصر المنغنيز في السبيكة. بينت نتائج قياسات المجس الحراري أن الإلكترونيات هي الحاملات الأكثرية للشحنة في هذه العينات .

THE THERMOELECTRLC POWER OF THE MAGNETLC Fe-Mn-Al COMPOUNDS

Abstract:

The thermoelectric power as a function of temperature for the Iron-Manganese-Aluminum, Fe-Mn-Al, alloys for manganese concentrations 0.04, 0.06, 0.08, 0.10 and 0.20 have been investigated in the temperature range 300 K to 500 K. these results showed that the thermoelectric power coefficient in hot probe measurements showed that the electrons are the majority charge carriers in these alloys.

المقدمة:

يعد اعتماد القدرة الكهروحرارية (معامل سيباك) على درجة الحرارة من وسائل البحث المهمة عن الخواص الإلكترونية للمواد الصلبة التي يمكن التعرف من خلالها على آلية التوصيل الكهربائي وتركيز حاملات الشحنة. وقد اكتشفت هذه الظاهرة عام ١٨٢٢ لأول مرة من العالم سيباك واقترنت تسميتها بأسمه. وتأثير سيباك عبارة عن نشوء قوة دافعة كهربائية عبر المادة نتيجة لتعرضها الى انحدار حراري . أي أن معامل سيباك يعني تحول الطاقة الحرارية الى طاقة كهربائية. ومنذ الخمسينات تركزت الاهتمامات لمعرفة المواد التي لها كفاءة عالية في التحول الكهروحراري بقصد استخدامها علميا" في صناعة الأجهزة الكهروحرارية (١). يؤثر الانحدار الحراري في الفلزات وعلى حاملات الشحنة وانتقال الطاقة، ولا يغير في تركيز حاملات الشحنة بل يتسبب في إعادة بسيطة لتوزيع سرعتها الحرارية، ولهذا فأنه من غير الممكن أن تتولد قوة دافعة كهر وحرارية عالية. أما في المواد شبه الموصلة فأن الانحدار الحراري يسبب تغيرا" في خواص حاملات الشحنة، ولهذا فسوف تتولد قوة دافعة كهر وحرارية عالية . أوضحت الدراسات المتعلقة بالقدرة الكهروحرارية العديد من الحقائق ومنها :

أولا": أن مقدار قيمة معامل سيباك تكون واطئة لأشباه الموصلات النقية (intrinsic) وتحصل الحالة نفسها في أشباه الموصلات التي تكون فيها مستويات الطاقة منحلة وتكون قيمة معامل سيباك عالية في أشباه الموصلات غير النقية (Extrinsic) التي تكون فيها مستويات الطاقة غير منحلة (٢) .

ثانيا": أن زيادة تركيز حاملات الشحنة يؤدي الى خفض قيم معامل سيباك (٣).

ثالثا": يكون معامل سيباك موجبا" عندما تكون حاملات الشحنة من النوع الموجب(p-type) ويكون ذا قيمة سالبة عندما تكون حاملات الشحنة من النوع السالب (n-type) .

أجريت دراسة على معامل سيباك المركب الثلاثي $CuGe_2P_3$ (4) وتبين أن قيم مستويات

طاقة فيرمي المعتمدة على درجة الحرارة تتراوح بين (0.1-0.5eV) . كما أجريت دراسة المركب (TM_x-Ti-S_2) حيث أن (TM=V,Cr,Mn,Fe, Co,Ni) وان (x = 1/3, 0.2, 0.15, 0.1) واتضح من هذه الدراسة (٥) أن القيمة المطلقة للقدرة الكهروحرارية (معامل سيباك) يقل خطيا" مع زيادة درجة الحرارة (T) ضمن المدى المستخدم. أوضحت دراسة (٥) المركب (Fe-Co-O_4) أن معامل سيباك يكون موجبا" عند الحرارة الواطئة ، وهذا يعني أن حاملات الشحنة تكون موجبة الشحنة وعند ارتفاع درجة الحرارة تكون قيمة معامل سيباك سالبة مما يدل على أن حاملات الشحنة تكون سالبة الشحنة. يتسبب التوصيل الإلكتروني عند ارتفاع درجة الحرارة في توليد حركة كبيرة للإلكترونات التي تهيج مستويات أخرى من الحالات المتوقعة لمستويات Co^{+2} . وفي حالة كون التوصيل من النوع الموجب والذي يظهر عند درجات الحرارة الواطئة يفهم على انه يسبب تأكسدا" Co^{+3} على العينة . أجريت دراسة (6) على السبيكة (Fe_{1-x} V_x)$_3$ Al والتي تحوي على ذرات حديد في المركب (Fe_3Al) والتي يستبدل بعض منها بذرات عنصر الفاناديوم (V) . كما أجريت دراسة (7) على السبيكة ($Fe_xMn_{7-x}Al_3$) باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية (X-ray diffraction) وتبين من السبيكة ($Fe_xMn_{.7-x}Al_{.3}$) باستخدام تقنية حيود الأشعة السينية (X-ray diffraction) وتبين من خلال خطوط الطيف العريضة (قمة واسعة) بان لهذه السبيكة خصائص عشوائية وان لها خواصا" مغناطيسية وتركيبا" بلوريا" بنظام ال(bcc). أوضحت دراسة تأثير أو كسيد الكادميوم CdO في معامل سيباك لأكاسيد العناصر الانتقالية الأحادية (8) أن معامل سيباك يزداد بزيادة درجة الحرارة. كما أوضحت دراسة (9) تأثير تركيز أو كسيد المنغنيز الأحادي MnO في التوصيلية الكهربائية ومعامل سيباك في عينات العناصر الانتقالية الأحادية (NiO, CoO, CuO) وبينت الدراسة أن التوصيلية الكهربائية تزداد بزيادة تركيز MnO وان معامل سيباك يقل (إلى حد النسبة x=0.5) ومن ثم تقل التوصيلية ويزداد معامل سيباك عند النسب الأكبر (x=0.5) . درست المقاومية الكهربائية ومعامل سيباك بوصفها دالة لدرجة الحرارة للمركب الثلاثي (Ce-TM-Ge) (TM: Ni , Pd and Pt) إذ تمثل عند درجات الحرارة الواطئة (10). أظهرت النتائج وجود قمة موجبة أحادية للقدرة الكهروحرارية في حالة وجود العنصر (Ni) ضمن تركيب المركب الثلاثي، بينما توجد قمة موجبة ثانوية للقدرة الكهروحرارية عند وجود العنصر (Pd) والعنصر (Pt) ضمن تركيب المركب وسجلت أيضا" قمة سالبة للقدرة الكهروحرارية عند ارتفاع درجة الحرارة . تم قياس التأثرية المغناطيسية، و المقاومية الكهربائية ومعامل سيباك للمركب ($Ce_xLa_{1-x}Pd$ Sn) إذ أن (x=0.3,0.4,0.5,0.7,1) . وأظهرت قياسات معامل سيباك أن لهذا المركب تركيبا" معقدا" عند درجات الحرارة الواطئة (11).

التقنية التجريبية:

يبدأ تحضير هذه العينات بتهيئة الكميات المناسبة من العناصر الأساسية لهذه السبائك وهي الحديد، Fe والألمنيوم، Al والعنصر المغناطيسي الانتقالي المنغنيز Mn ذات النقاوة العالية وحسب الأوزان الذرية. تخلط هذه العناصر بصورة جيدة وتصهر في فرن قوسي تحت ظرف جو خامل من غاز الأركون وتقلب العينة وتكرر عملية الصهر عدة مرات لضمان عملية تجانس السبيكة الناتجة. تم تحديد نوع حاملات الشحنة باستخدام طريقة المجس الساخن (Hot Probe Method) . تتكون الدائرة الكهربائية من كلفانوميتر وكاوية حرارية ذات قدرة واطئة موصلة بسلك إلى القطب الموجب للكلفانوميتر وسلك أخر متصل براس مدبب موصول بالقطب السالب للكفانوميتر . إذ تسخين الكاوية وتلامس نهايتها المدببة بالعينة، ويجري تحديد انحراف المؤشر الكلفانوميتر بالاعتماد على عينة مرجعية. تستند الطرائق المتبعة لقياس معامل سيباك على استحداث فرق في درجات الحرارة ΔT على طرفي العينة بعد ربط مسخن حراري (Heater) على طرفيها، وربط الطرف الأخر من العينة بنقطة ذات درجة حرارة ثابتة (مرجعية) . يولد الانحدار الحراري قوة دافعة كهربائية تظهر كفرق جهد ΔV على طرفي العينة. تم تصميم حامل عينة يتكون من قرصين علوي وسفلي من مادة النحاس. تم تثبيت زوج من المزدوجات الحرارية ( ) Thermocouplesمن نوع نحاس -كونستنتان ( ) Cu-Constantan في كل من القرص العلوي والسفلي لقياس درجة حرارة وجهي العينة من خلال قراءة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المزدوجات الحرارية ε_1 , ε_2 واللتان تقابلان درجتي الحرارة T_1, T_2 على التوالي ، فعندئذ يكون متوسط درجة حرارة العينة مساويا" إلى T إذ أن : $\{T = (T_1+T_2)/2\}$. يكون الفرق في درجات الحرارة ΔT مساويا" إلى ($\Delta T=T_1-T_2$)

فإذا كانت ΔV تمثل القوة الدافعة الكهربائية الناتجة عن الفرق في درجات الحرارة بين طرفي العينة فان معامل سيباك للدائرة المفتوحة (open circuit) يكون مساويا" إلى : ($S = \Delta V / \Delta T$) . يوضح الشكل (1) الدائرة الكهروحرارية المستخدمة في قياس معامل سيباك. استخدمت أجهزة قياس رقمية وذات دقة 1 مايكروفولت نوع (Keithley 177 DVM) لقياس فروق الجهد المختلفة. وقد استخدم مسيطر حراري لتثبيت درجة حرارة القرص السفلي (Heat Sink) . هناك عدد من الصعوبات والمشاكل التي عولجت لتقليل نسبة الخطأ في القياسات ومها: محاولة الحصول على عينات مستوية الأوجه لضمان التوصيل الميكانيكي الجيد مع حامل العينة . كما عزلت المزدوجات الحرارية كهربائيا" عن حامل العينة باستخدام مواد عازلة كالورنيش وورق المايكا. ولتفادي مشكلة تأكسد حامل العينة النحاسي بسبب درجة الحرارة العالية، ونشوء طبقة من الأوكسيد بينه وبين العينة فقد طلي حامل العينة بمادة الكروم النقي. أن تفاصيل هذه التقنية مشروحة بالتفصيل في المصدر (9).

النتائج والمناقشة:

يلاحظ من الشكل (2) أن إشارة معامل سيباك ، S ، كانت سالبة لجميع العينات ، وهذا دليل على أن حاملات الشحنة الأغلبية هي الإلكترونات ، تتغير قيم S بصورة طردية مع درجة الحرارة ، وكان مقدار هذا التغير غير متداخل بالنسبة للعينات ذات التراكيز القليلة ($x = 0.06 , 0.02$) من عنصر المنغنيز Mn ، ويقل ببطء مع زيادة درجة الحرارة والسبب في هذا ربما يعود إلى أن عدد حاملات الشحنة الناتجة من تأين معظم الأيونات والشوائب القابلة يكون مستقرا" (ثابتا") في هذه السبائك (12). وكانت أعلى قيمة للقدرة الكهروحرارية لهاتين العينتين عند درجات الحرارة القريبة من درجة حرارة الغرفة. يمكن أن يعزى سبب الزيادة القليلة لمقدار معامل سيباك إلى تغير تحركية حاملات الشحنة كما وتغير الكتلة الفعالة بسبب وجود اكثر من مستوي الشوائب وبطاقات تأين مختلفة داخل الفجوة الممنوعة، أن سبب عدم زيادة معامل سيباك بشكل واضح يعود إلى اختزال عدد من المستويات الشائبة، واحتلال الذرات الشائبة مواقع في البناء البلوري وتحوله الى مركب اكثر ثباتا"، ويلاحظ أن مقدار معامل سيباك للنماذج الأخرى تبدو متميزة عن بعضها البعض بشكل واضح إذ يلاحظ عند زيادة تركيز عنصر المنغنيز نحصل على قيمة سالبة للقدرة الكهروحرارية عند درجات الحرارة القريبة من درجة حرارة الغرفة وبعدها يلاحظ أن القدرة الكهروحرارية تقل تدريجيا" وبشكل خطي مع درجة الحرارة لحدوث عمليات اسر للإلكترونيات من قبل الثقوب . أن أسباب انخفاض مقدار معامل سيباك مع ارتفاع درجة الحرارة هو زيادة تأين المستويات القابلة بحيث تكون متقاربة جدا" مع بعضها البعض عند زيادة درجة الحرارة، في منطقة طاقة الفجوة والتي يؤدي إلى زيادة تركيز حاملات الشحنة الأغلبية لكون الحاملات من النوع السالب (n-type) (13). تتفق هذه النتائج مع نتائج الدراسة التي قام بها (5) على المركب (Fe_x-TiS_2) والتي أوضحت أن مقدار معامل سيباك ينخفض من ارتفاع درجات الحرارة والذي يعزي الى حصول تفاعلات بين حاملات الشحنة وذرات الحديد المضافة .

يوضح الشكل (3) والجدول (1) قيم معامل سيباك كدالة لتركيز عنصر المنغنيز Mn لدرجات حرارية منتجة (300 K, 350 K, 400 K, 450 K) وان أعلى قيمة للقدرة الكهروحرارية كانت عند درجات الحرارة القريبة من درجات حرارة الغرفة، ربما بفعل تأثير سحب الفونون الذي يقوم بجرف الإلكترونات نحوه نتيجة لاهتزازات الشبكية. ونرى ايضا" أن قيمة معامل سيباك تقل بشكل واضح كلما تزداد درجة الحرارة وذلك بفعل تأثير عملية قنص الإلكترونات (14) مما يؤدي الى حصول زيادة في التوصيلة الكهربائية وجاءت هذه النتائج متفقة مع نتائج دراسة التوصيلة الكهربائية للعينات نفسها والتي بينت ازدياد التوصيلة الكهربائية مع زيادة درجة الحرارة (15). أن مقدار معامل سيباك يزداد خطيا" بزيادة نسبة تركيز المنغنيز (Mn) وتكون هذه مرافقة لخفض تركيز حاملات الشحنة او زيادة الكتلة الفعالة لحاملات الشحنة مع زيادة نسبة تركيز المنغنيز . تتفق نتائج هذه الدراسة مع نتائج دراسة تأثير سيباك التي أظهرتها سلسلة السبائك $Fe_{0.7-x}$ TM_x $Al_{0.3}$ الحاوية على عنصري التيتانيوم Ti والفاناديوم V ، ولكنها تختلف عن تلك الحاوية على عنصر الكوبلت Co ، والتي أظهرت معامل سيباك موجب الإشارة مما يدل على اختلاف آليات التوصيل واختلاف نوعية حاملات الشحنة الكهربائية (16). كما تتفق هذه النتائج مع نتائج الدراسات التي أجريت على المركب الثلاثي (Cu_1-$_x Al_x As$) (3) والتي أوضحت بأن مقدار معامل سيباك يتغير بتغير تركيز المركب وان هذا التغير يكون خطيا والسبب في هذا التغير يعزى الى تغير الكتلة الفعالة بصورة خطية مع زيادة نسبة التركيز. كما تتفق هذه النتائج مع نتائج القدرة الكهروحرارية للمركبات المغناطيسية ($Dy_x Y_1$-

MoO_7 $_{x})_2$ (17). يوضح الشكل (4) العلاقة S/T بوصفها دالة لدرجة الحرارة T عدم وجود أي تغير واضح في العلاقة المذكورة عند أية درجة حرارية ضمن مدى الدراسة . وغالبا ما تستخدم هذه الطريقة في الكشف عن حدوث تغيرات الطور (كالتغيرات المغناطيسية) . ومن المفيد الإشارة الى الدراسة المتعلقة بسبائك اكاسيد العناصر الانتقالية الناتجة عن إضافة MnO الى CoO و NiO و CuO وبنسب مئوية مختلفة (0 و 25 و 50 و 75 و 100) والتي توصلت الى نتائج عدة منها (9): أن قيم معامل سيباك قلت مع زيادة درجة الحرارة بسبب ازدياد تركيز حوامل الشحنات فضلا" عن عمليات التشتت المختلفة . وان إضافة أو كسيد المنغنيز الأحادي MnO بشكل مختلف عن العينات الحاوية على النسب الأخرى إذ بينت النتائج التصرف غير المألوف الحاصل عند تلك التراكيز وذلك لكثرة نسبة أو كسيد المنغنيز الذي اثر بشكل كبير في معامل سيباك لتلك العينات . تتفق هذه النتائج مع نتائج دراسة (8) معامل سيباك S مع درجة الحرارة T في مدى درجات الحرارة 300 K الى 500 K لسبائك أو كسيد المنغنيز-كادميوم $Mn_xCd_{1-x}O$. (اذ ان x=0.25,0.50,0.75) والتي ازدادت فيها قيم معامل سيباك بارتفاع درجة الحرارة للسبائك جميعها والسبب في ذلك يعزى ايضا"الى انخفاض في حركية حاملات الشحنة بزيادة درجة الحرارة. اظهر أو كسيد المنغنيز MnO أعلى قيمة لمعامل سيباك في هذه السلسلة . ان إضافة أو كسيد الكادميوم الأحادي CdO الحاوي على تركيز عال من حاملات الشحنة (الفجوات) يؤثر على طبيعة أو كسيد المنغنيز الأحادي MnO ويعمل على زيادة توصيلته الكهربائية وحسب قيمة النسبة المضافة اليه. لذلك نلاحظ ان معامل سيباك يقل بزيادة تركيز أو كسيد الكادميوم الأحادي CdO في السبيكة وعليه فان السبيكة $Mn_{0.75}Cd_{0.25}O$ امتلكت أعلى قيمة لمعامل سيباك تليها السبيكة $Mn_{0.50}Cd_{0.50}O$ ثم السبيكة $Mn_{0.25}Cd_{0.75}O$. أما نتائج قياسات القدرة الكهروحرارية المتولدة في السبائك البلورات المشابهة $Fe_{0.7-x}Co_xAl_{0.3}$ لقيم x المساوية الى 0.02 و 0.04 ,0.06 ,0.08 في المدى نفسه من درجات الحرارة 300 K الى 500 K فقد أظهرت ازدياد القدرة الكهروحرارية بصورة طردية تقريبا" مع ارتفاع درجة الحرارة وانخفاضها مع زيادة تركيز عنصر الكوبلت في السبيكة.

الاستنتاجات:

تم قياس القدرة الكهروحرارية كدالة لدرجة الحرارة وتركيز العينة في السبائك المغناطيسية البلورية الحديد-منغنيز-ألمنيوم $Fe_{0.7-x}Mn_xAl_{0.30}$ لقيم x المساوية إلى 0.20, 0.10, 0.08, 0.06, 0.04 في مدى درجات الحرارة 300 K إلى 500 K . يمكن تلخيص أهم النتائج التي توصلت أليها الدراسة بما يأتي :

١. إن حاملات الشحنة الأغلبية في هذه السبائك هي الإلكترونات .
٢. يقل مقدار القدرة الكهروحرارية بارتفاع درجة الحرارة.
٣. تزداد القدرة الكهروحرارية بزيادة نسبة المنغنيز في السبيكة.

جدول ( ) يوضح قيم معامل سيباك عند درجات الحرارة

الصيغة الكيميائية	القدرة الكهروحرارية			
		21MS	7MN8	71MS
$Ni_{u00}59_{uM7}83_{u2M}$	Kdul	Kdul x	Ku=	K0u--
$Ni_{u07}59_{uM0}83_{u2M}$	K=uM	Kdul2	Kul	K0uO
$Ni_{u0O}59_{uMd}83_{u2M}$	KxMddd	KxMu7O	K=u2	Kud1
$Ni_{u0M}59_{uuxM}83_{u2M}$	Kx1u0	Kx7ux	KxOu7	KxMu-
$Ni_{u1M}59_{uOM}83_{u2M}$	KO7u0	K22ux	KOMud	Kx0

المصادر:

[1] Dubey K. S. (1980) "An introduction to solid state physics and its application". 1st Edition, MacMillan Press Ltd.

[2] Geballe T. H. and Hull G.W. (1964) "Seebeck effect in Germanium" Phys. Rev. 149, pp. 1134-1140.

[3] Hava S. and Hunsperger R. (1985) "Electronic defect structure in metals" J. Appl. Phys. 57, pp. 5330-5335.

[4] Omar M.S. Ameen M.M., Murad I.M. Hanna M.H. (1988). "Thermoelectric power in the ternary doped $CuGe_2P_3$ compound". Zanco Vol. 1, pp.55-65.

[5] Inoue M. et al (1986). "Processes in semiconductors". J.Phys. Soc. Jap. Vol. 55, pp.1400.

[6] Nishino Y. (1988). "Electronic structure of possible 3d heavy fermion" J.Phys. Conden. Matter. Vol. 10, pp. L119-L126.

[7] Marco J.F., Zamora L.E. Alcazar G.A., Bohorquez A. and Gonzalez J.M. (1997). "Magnetic properties of the $Fe_xMn_{0.70-x}Al_{0.30}$ ($0.40<x<0.58$) alloy series". J. Appl. Phys. Vol.82, 6165-6169.

[٨] الصوفي ،أياد جياد (1998)" تأثير أو كسيد الكادميوم الحادي CdO على معامل سيباك في سبائك اكاسيد العناصر الانتقالية MnO_2, CoO_2, NiO_2, CuO" أطروحة ماجستير – قسم الفيزياء-كلية التربية-جامعة الموصل.

[٩] محمد ،كاظم احمد وشريف، جلال محمد (2001) "تأثير سيباك في سبائك اكاسيد العناصر الانتقالية TM-Mn-O. مجلة دراسات (العلوم الأساسية) (الجامعة الأردنية) المجلد 28، العدد ١، 155-171 .

[10] Sakurai J., Huo D., Kato D., Kuwai T. Isikawa Y. and Mori K. (2000) "Termoelectric power of CeTGe (T: Ni, Pd and Pt)". Physica B. Vol.281 & 282.pp. 98-100.

[11] Huo D., Mori K., Kuwai T., Kondo H., Isikawa Y. and Sakurai J. (1988) "RKKY interaction and Kondo effect in (Ce, La) Pd-Sn"._J.Phys. Soc. Jap. 68, pp. 3377-3382.

[12] Bosman A. J. and Crevecoeur C. (1969) "Electrical Conduction in Li-Doped CoO". J.Phys. Chem. Solids. Vol. 30, pp. 1151-1160.

[13] Domanevskii D.S., Krasovskii, V.V., Prokopenya M.V., Vilkotsii, V.A. heavy doped semiconductors". Phys. Stat. Solidi Vol. 133, pp. 693-700.

[14] Subramanyam K. N. and Swedan S. A. (1980) "The Electrical Conductivity in Certain Nikel Ferrites". Phys. Stat. Sol. (a). Vol. 61: K159.

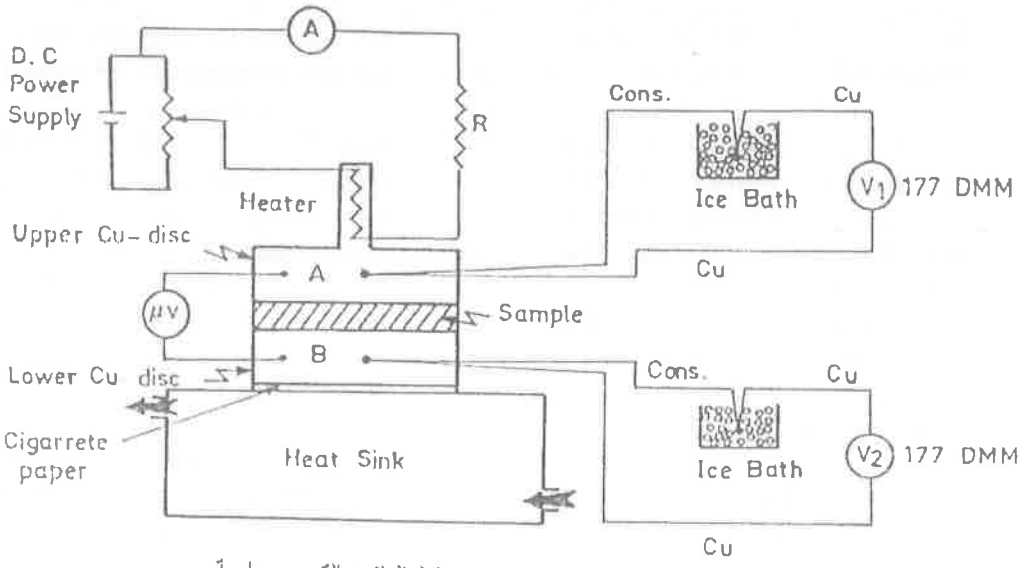
[١٥] الجاف، روزه برهان الدين (2001) "التوصيلة الكهربائية في المركبات المغناطيسية البلورية

[١٦] أطروحة (Fe-TM-Al (TM=Cr, Mn, Co ماجستير – قسم الفيزياء-كلية التربية-جامعة تكريت.

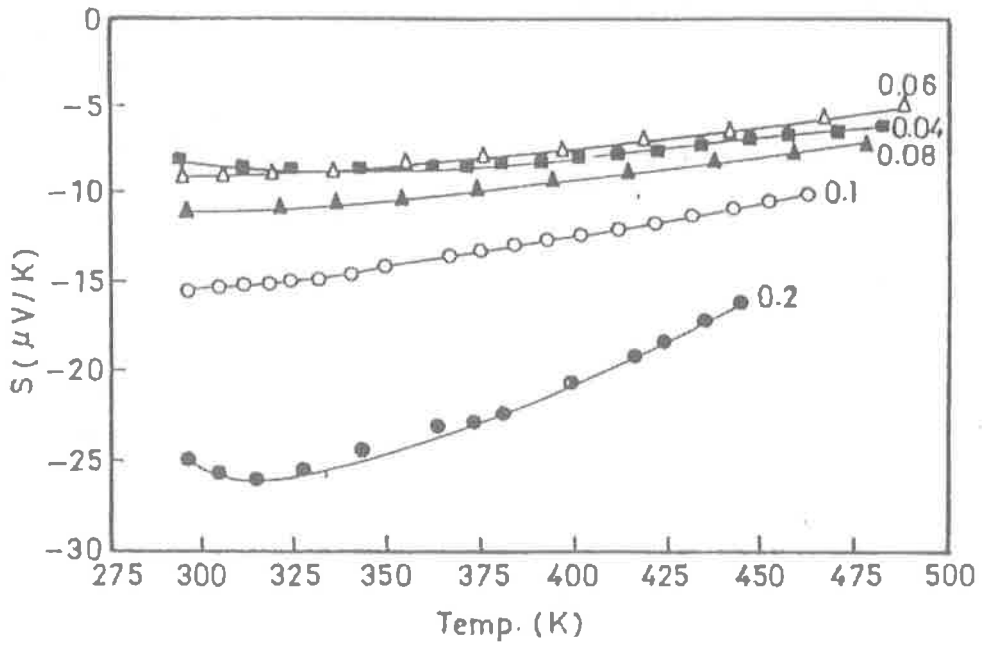
[١٧] علي ، عبد الله محمود (2001)"القدرة الكهروحرارية في المركبات المغناطيسية البلورية

[١٨] (Fe-TM-Al (TM=Cr, Mn, Co أطروحة ماجستير-قسم الفيزياء-كلية التربية-جامعة تكريت.

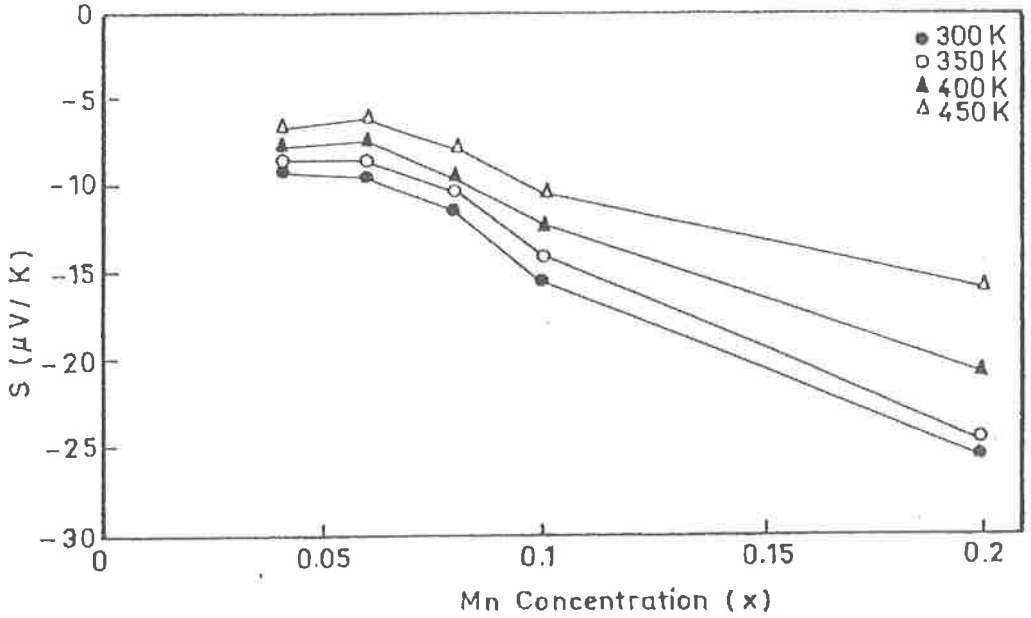
[19] Raju N.P. and Rangarajan G. (1990) "Electrical conductivity and thermoelectric power of the compound $(Dy_x\ Y_{1-x})_2\ Mo_2O_7$. J.Phys. Condens. Matter Vol. 2 pp. 3539-3546.



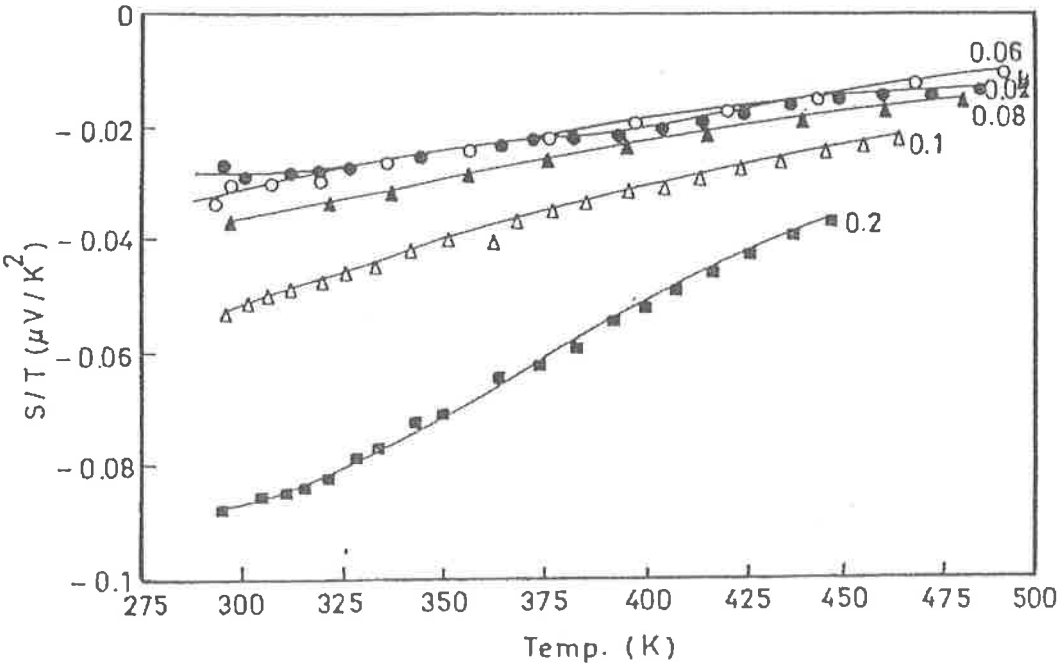
الشكل (1) : يوضح مخطط الدائرة الكهروحرارية.



الشكل (2) : يوضح علاقة القدرة الكهروحرارية، S مع درجة الحرارة T.



الشكل (3) : يوضح قيم S مع تركيز عنصر المنغنيز، Mn، في السبيكة عند درجات حرارية مختلفة.



الشكل (4) : يوضح علاقة S/T مع T.