التوصيلية الكهربائية في مركبات Fe– Mn-Al المغناطيسية

أ.م.د كاظم احمد محمد
قسم الفيزياء/كلية التربية
جامعه الموصل

أ.م.د صبري جاسم محمد
قسم الفيزياء/كلية التربية
جامعه تكريت

أ. عايد نجم صالم

الخلاصة

تم في هذا البحث قياس خاصية التوصيلية الكهربائية كدالة لدرجة الحرارة لعينات من سبيكة الحديد– المنغنيز – ألمنيوم Fe0.70-xMn xAl0.30)) والتي يدخل فيها عنصر الكوبالت كمادة مضافة للتراكيز المخففة المساوية إلى (0.20, 0.10 , 0.04 ,0.06و0.08) في مدى درجات الحرارة 300 ºK إلى500º K بينت القياسات الكهربائية زيادة في التوصيلية الكهربائية مع زيادة درجة الحرارة للعينات Fe0.50Mn0.20Al0.30 و Fe0.66Mn0.04Al0.30 بسبب زيادة التحركية بازدياد درجة الحرارة وفق نموذج التنطط بالتنشيط الحراري وقد أظهرت نقصان في التوصيلية الكهربائية للعينة Fe0.64Mn0.06Al0.30 بسبب نقصان في التحركية , اما العينة Fe0.62Mn0.08Al0.30 فان التوصيلية تزداد بشكل بطيء مع درجة الحرارة واما العينة Fe0.60Mn0.10Al0.30 اظهرت زيادة بطيئة في التوصيلية مع درجة الحرارة في المدى (T<345º K) وعند المدى (T>345º K) يلاحظ تناقص التوصيلية مما يدل على وجود الانحلال حيث ان مستوي فيرمي يقع ضمن حزمة التوصيل ٠ بينت نتائج القياسات أن الالكترونات هي الحاملات الأكثرية للشحنة الكهربائية في هذه العينات ٠

المقدمة

ان التوصيلية الكهربائية في اشباه الموصلات تعتمد على عدد حاملات الشحنة المتحركة الالكترونات او الفجوات او كليهما وعلى التغير في التوزيع المتوازن المثار بواسطة المجال الكهربائي المسلط ٠

عند إضافة ذرات شائبة إلى شبة الموصل ,وعند الافتراض بان تركيز الذرات الشائبة المضافة تكون اصغر مقارنة بكثافة ذرات المضيف شبة الموصل ٠فان هذا العدد القليل من الذرات الشائبة تكون متباعدة بعضها عن بعض لذلك لا يكون هناك تفاعل بين الإلكترونات المانحة ٠ففي المواد نوع n (آوp) نفترض أن الشوائب تدخل مستويات طاقة مانحة (آو قابلة) غير متفاعلة منفصلة ٠هذه الأنواع من أشباه الموصلات تسمى باشباة الموصلات غير المنحلة (Nondegenerate) ٠أما إذا ازداد تركيز الشوائب , فان المسافات بين ذرات الشوائب تقل

وتتفاعل الإلكترونات المانحة (القابلة) مع بعضها وان طاقة المانحات (القابلات) المنفصلة المنفردة سوف تنتشر (difuse)إلى حزم للطاقة

يمكن حساب توصيلية أشباه الموصلات من خلال معرفة تغير طاقة التنشيط للإلكترونات مع درجة الحرارة ٠ عند زيادة درجة حرارة شبه الموصل فان بعض الإلكترونات يمكن أن تتحرر من الأواصر بسبب التغاير الحراري لان طاقتها ستصبح اكبر من طاقة تنشيط شبة موصل الذاتي لذلك فان عدد الإلكترونات التي تتحرك بحرية وبتأثير المجال الكهربائي ستزداد وبالتالي فان توصيلية شبه الموصل ستزداد مع درجة الحرارة ٠ آما شبه الموصل المشوب فان إلكترونات الشوائب تكون أول من يفلت من الأواصر لان طاقة تنشيط إلكترونات ذرات الشوائب اقل من طاقة تنشيط إلكترونات الذرات لشبه الموصل وهذا يؤدي إلى تأين ذرات الشوائب أولا ٠ وعند زيادة درجة الحرارة اكثر فان التوصيلية الذاتية ستكون المسيطرة لان إلكترونات حزمة التكافؤ ستأخذ كمية من الطاقة الحرارية تمكنها من عبور فجوة الطاقة وتكون مراكز الشوائب قد استنفذت أي إنها لا تستطيع أن تزود حزمة التوصيل بالإلكترونات(1)٠

عند زيادة إضافية لتركيز المانحات (القابلات) فان حزم مستويات المانحات تتوسع وربما تتداخل (overlap) مع اسفل حزمة التوصيل (قمة حزمة التكافؤ) ٠هذا التداخل يحدث عندما يصبح تركيز المانحات (القابلات) قابل للمقاومة مع الكثافة الفعالة للحالات ٠عندما يفوق تركيز الإلكترونات(الفجوات) في حزمة التوصيل (التكافؤ) ٠هذا النوع من أشباه الموصلات يسمى أشباه الموصلات المنحلة نوع –n(–p) تكون المستويات بين Ef , E c مملوءة في الأغلب بالإلكترونات في الشبة الموصل n-type المنحلة ,وهكذا فان تركيز الإلكترونات في حزمة التوصيل سيكون كبيرا جدا ٠ كما تكون مستويات الطاقة بين Ev,Ef في الأغلب فارغة في شبة الموصل n-type المنحلة ٠ وهكذا فان تركيز الفجوات في حزمة التكافؤ سيكون كبيرا جدا (2) ٠ أن التوصيلية الكهربائية σ لهذه المواد تزداد أسيا مع درجة الحرارة حسب العلاقة التالية (3) ٠

$$\sigma = f(T)\exp(-Eg/k\beta T)$$

حيث Ef مستوي طاقة فيرمي و Ev حزمه التكافؤ و , E c حزمة التوصيل

بينت نتائج دراسات طيف حيود الأشعة السينية و النيوترونات في درجة حرارة الغرفة للسبائك المتكونة من عنصري الحديد Fe و الألمنيوم Al ,أن هناك نظامين للترتيب الطويل المدى مرتكزا على التراكيب النقية FeAl, Fe3Al(4)(5) ٠أظهرت نتائج هذه الدراسات أن هذه التراكيب البلورية للسبائك Fe-Al هو نوع متمركز الجسم (B.C.C) ٠قام (Plascak)(6) بدراسة الخواص التركيبية و المغناطيسية لسبائك Fe-Mn-Al في طور

bcc غير المرتبة بواسطة طيف موزباور و الأشعة السينية فاثبت أن ذرات Al تحدث زيادة خطية تقريبية لمعامل الشبيكة سببها الحجم الذري الكبير لذرات Al , واثبت أن كل السبائك الغنية بالحديد تكون فير ومغناطيسية ٠ قام (Sanchez)(7) بدراسة عملية للتصرفات المغناطيسية لسبائك الفولاذ المتجمدة غير المرتبة ل Fe-Mn-Al في طور fcc عند درجة حرارة الغرفة ,وأثبت أن الفولاذ المتجمد المؤلف من سبائك متوازنة ثلاثية تكون عمليا في الحالة الفيرومغناطيسية لكل أطوار التركيب (fcc) المدروسة ٠ قام (Marco)(8) بدراسة الخواص المغناطيسية لسلسة سبيكة FexMn0.7-xAl0.3 (0.40<x<0.58) بواسطة قياسات مطياف موزبار و التأثرية المغناطيسية المتناوبة ٠ ولاحظ تواجد الطور البارامغناطيسي و الطور الفيرومغاطيسي وأن التركيز العالي لFe يعطي قيمة عالية لدرجة حرارة كوري Tc٠ قام (Tabares) (9) بدراسة السبيكة غير المنتظم Fe0.45Mn0.25Al0.30 بواسطة قياسات مطياف موباوز و المغناطيسية,ولاحظ أن السبيكة تكون ذات نظام زجاجي برمي (spin glass) عند T=60ºK ٠ قام (Okpalugo) (10) بدراسة معمقة للمغناطيسية و التركيب باستعمال حيود النيوترونات و الأشعة السينية و المغناطيسية وتقنية استطارة نيوترونات الزاوية الصغيرة للسبائك FeAl1-xTMx (TM=Mn,Co) وبينت نتائج هذه الدراسة أن التأثرية المغناطيسية تزداد بزيادة تراكيز العناصر الانتقالية المعوضة حتى ظهور المغناطيسية الذاتية (Guo) (11) بينت قياسات المغناطيسية و الحرارة النوعية أن السبيكة Fe2Val تكون شبه معدن غير مغناطيسي مع فجوة طاقة ضعيفة عند مستوى فيرمي وان التركيب البلوري للسبيكة Fe3Al هو من نوع fcc ٠ كذلك قام كلا من (Sanckezu) (12) و(Huo) (13) بدراسة المقومة الكهربائية و القدرة الكهروحرارية للمركب الثلاثي CeTMGe (TM:Ni, Pd, Pt) والمركب CePdSn كدالة لدرجة الحرارة وقد وجد بان قيمة موجبة ل S(T) لهذه المركبات في درجات الحرارة الواطئة ٠ قام (الجبوري)(14) بدراسة القدرة الكهروحرارية فوجد بأنها تزداد بزيادة درجة الحرارة للسبيكة Fe0.7-xC0.xAl0.3 بينما تقل مع زيادة درجة الحرارة لكل من السبيكة Fe0.7-x.xAl0.3 و السبيكة 7- Fe0. xCr.xAl0.3 ٠

التقنية التجريبية

تبدأ عملية تحضير عينات السبيكة الثلاثية Fe070-x. Mn.xAl0.3 بوزن العناصر الداخلة في تركيب كل سبيكة وحسب نسبة الأوزان الذرية المئوية الداخلة فيها ٠ ثم تصهر المكونات المذكورة سوية في مسبك (furnace) باستخدام القوس الكهربائي في جو خامل من غاز الاركون لتفادي تأكسد المواد ٠ يكون شكل السبيكة الناتجة بيضوية الشكل تقريبا يتم

تقطيعها للحصول على قرص دائري ذو وجهين مستويين وذلك من أجل الحصول على تماس جيد بين وجهي العينة وقطبي خلية القياس ٠ تم تحديد نوع حاملات الشحنة باستخدام طريقة المجس الحراري (Hot Probe Method) أساس عملها هو ظاهرة التأثير الكهروحراري, ومن أجل معرفة نوع حاملات الشحنة لعينة ما تسخن الكاوية وتلامس نهايتها المدببة من جهة والرأس المدبب للعينة من جهة أخرى ٠ يتم تحديد اتجاه انحراف مؤشر الكلفانوميتر مسبقا وذلك باستخدام عينة مرجعية (النحاس مثلا) لغرض التأكد من دقة تحديد اتجاه انحراف مؤشر الكلفانومتر لنوعية حاملات الشحنة ٠ تم أجراء قياسات التوصيلية الكهربائية في مدى درجات الحرارة من 300 ° K إلى 500° K عن طريق ربط مسخن حراري (Heater) على حامل العينة ٠ ولغرض قياس درجة الحرارة يتم تثبيت زوج من المزدوجات الحرارية (Thermocouples) من نوع نحاس – كونستنتان (Cu-Constantan) في كل من القرص العلوي والسفلي لقيم درجة حرارة طرفي العينة ويمكن معرفة درجة الحرارة من خلال القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في المزدوجات الحرارية والمقاسة باستخدام مايكروفولتميتر نوع (Keithley 177DMM) ٠ فإذا كانت V1 و V2 القوة الدافعة الكهربائية للمزدوجين الحراريين الواقعين على جهتي العينة و التي تقابل درجتي الحرارة T1 وT2 على التوالي فيكون متوسط درجة حرارة T , العينة مساوية إلى [T=(T1+T2)/2] ٠ ويتم تسليط فولتية ثابتة عبر العينة بواسطة مجهز القدرة المستمرة (DC power supply (نوع (Hewlett Packard) ومن ثم قراءة قيم التيار الكهربائي , I , المار خلال العينة, بواسطة أميتر ،نوع (Fluka) ذو دقة (10^{-9} amp) , أما التغير في فرق الجهد عبر طرفي العينة فأنها قيست باستخدام الجهاز نفسه المستخدم في قياس الفولتية بعد إزالة تأثير القوة الدافعة الكهربائية المضافة إلى الفولتية V والمطروحة منها بواسطة قياس الفولتية في الحالتين , الحالة الأمامية والحالة العكسية بواسطة مفتاح عاكس , ومن ثم اخذ معدل الفولتية للحالتين كلتيهما (14) ٠ يتم قياس سمك العينة باستخدام المايكروميتر ٠ كذلك يتم تحديد المساحة السطحية لوجه العينة ٠ ومن قيم التيار و الفولتية يتم تحديد المقاومة الكهربائية ٠ أما قيم التوصيلية الكهربائية σ فيتم إيجادها من مقلوب المقاومة الكهربائية ρ ٠ من أهم العوامل الموثرة في دقة القياسات التجريبية هو نوعية التماس الميكانيكي بين قرصي حامل العينة ووجهي العينة الذي يمكن الاستدلال على حالته من ملاحظة قراءة الاوميتر أثناء عملية وضع العينة في مكانها المناسب لأجراء القياسات الكهربائية ٠ يوضح الشكل (1) الدائرة الكهربائية المستخدمة في قياس التيار وفروق الجهد الكهربائي ٠ إن تفاصيل التقنية التجريبية مشروحة بالتفصيل في المصدر (15)٠

النتائج و المناقشة

تمت دراسة التوصيلية الكهربائية مع درجة الحرارة T في مدى درجات الحرارة من 300 º K إلى 500 º K لعينات Fe0. 70-xMn.xAl0.3 (حيث X= 0.2, 0.1,0.04,0.06,0.08)٠ يتضح من الشكل (2) أن التوصيلية الكهربائية. للعينتات Fe0.50Mn0.20Al0.30و Fe0.66Mn0.04Al0.30 أظهرتا زيادة في التوصيلية الكهربائية مع زيادة درجة الحرارة بسب زيادة في التحركية بازدياد درجة الحرارة وفق نموذج التنطط بالتنشيط الحراري حيث أن التوصيلية الكهربائية تتناسب طرديا مع حاصل ضرب تركيز حاملات الشحنة والتحركية لذلك فان زيادة التوصيلية مع درجة الحرارة تكون ناتجة أما عن زيادة تركيز حاملات الشحنة بسبب زيادة في العيوب الذي يولد مستويات طاقة داخل فجوة الطاقة حيث إن هذه المستويات تقترب من حزمة التكافؤ أو حزمة التوصيل ,هذه الزيادة غالبا ما ترجع الى وجود مستويات داخلية (flaw state) متمثلة بمراكز القنص ومراكز الالتئام (16) ٠وفي العينة Fe0.64Mn0.06Al0.30 نلاحظ نقصانا في التوصيليه الكهربائية تعزى الى نقصان في التحركية , لان العينة المطعمة في هذه الحالة لا تلعب دور المانح فقط بل تؤثر ايضا على التركيب البلوري ٠ ان توصيلية العينة Fe0.62Mn0.08Al0.30 تزداد بشكل بطيء مع درجة الحرارة , لان عدد حاملات الشحنة الناتجة عن التاين معظم الذرات المانحة تبقى ثابتة وتفوق عدد حاملات الشحنة الناتجة عن التاين الذاتي او الانتقالات الالكترونية عبر فجوة الطاقة (Omar) ٠ العينة Fe0.60Mn0.10Al0.30 تظهر زيادة بطيئة في التوصيلية مع درجة الحرارة في المدى (T<345º K) وعند المدى (T>345º K) يلاحظ تناقص التوصيلية مما يدل على وجود الانحلال حيث ان مستوى فيرمي تقع ضمن حزمة التوصيل (Li) (17) ٠

ا لجدول (1) يوضح قيم التوصيلية الكهربائية عند درجات الحرارة 305 K,390º) K , 440º K) لسلسلة العينات Fe0.70- xMn.xAl0.3 ٠ يتضح من الجدول أن التوصيلية الكهربائية للعينات Fe0.64Mn0.06Al0.30 و Fe0.60Mn0.10Al0.30 تقل بازدياد درجة الحرارة بسبب زيادة المقاومة الكهربائية لها أي ان سلوكها هو سلوك معادن (روي) (18)٠ اما فيما يخص نوعية حاملات الشحنة فقد تم استنتاج نوعية حاملات لهذه العينات بانها سالبة أي شبة موصل نوع -n ٠ وهذا ما توصل الية (الجبوري) (14)ايضا حيث ان اشارة معامل القدرة الكهربائية كانت سالبة وهذا دليل على ان حاملات الشحنة الاغلبية هي الالكترونات٠

يوضح الشكل (3) علاقة تغير Ln σ مع 1000/T لعينات السلسلة xMnxAl0.3 Fe0.70- نلاحظ أن العينة Fe0.66 Mn0.04Al0.30 تمتلك طاقتي تنشيط ,الاولى (0.04 eV) عند المدى (305 K-402 K) والثانية (0.09 eV) ضمن المدى (402º

(K-483º K) ٠ أما العينة Fe0.62Mn0.08Al0.30 تمتلك طاقتي تنشيط الأولى (0.005 eV) ضمن المدى (307º K -390º K) والثانية (0.16 eV) عند (390 ºK- 480º K) ٠ أما العينة Fe0.50 Mn0.20Al0.30 فأنها تمتلك طاقت تنشيط (0.004 eV) ٠ أن العينات التي لها طاقتي تنشيط تكون توصيليتها على مرحلتين : الاولى تكون بطريقة القفز بين المستويات المقيدة في الفجوة يعني ان الانتقال بين حزمتي التكافؤو التوصيل غير ممكنة في المرحلة الاولى , ولكن يمكن ذلك في درجات حرارة اعلى ,وان التوصيلية في المرحة الثانية يكون على اساس انتقال حاملات الشحنة من حافة التحركية (mobility edge) الى مستويات غير مقيدة او ممتدة خلال الفجوة (شهاب) (19) ٠

الشكل (4) يوضح تغير التوصيلية الكهربائية لعينات- Fe0.70- xMn.xAl0.3 بتغير تركيز Mn حيث أن التوصيلية الكهربائية تزداد بشكل ملحوظ بزيادة نسبة Mn عند درجات الحرارة 305º K و 390 ºK و 440º K ٠ ان زيادة التوصيلية الكهربائية ناتجة عن الزيادة في تركيز حاملات الشحنة بسبب وجود مستويات مانحة في فجوة الطاقة ٠

أظهرت العينتان Fe0.66- Mn 0.04Al 0.30 و Fe0.50 Mn 0.2Al 0.30 زيادة في التوصيلية الكهربائية مع زيادة الدرجات الحرارية بسبب زيادة التحركية بازدياد درجة الحرارة وفق نموذج التنطيط بالتنشيط الحراري , هذه الزيادة غالبا ما ترجع إلى وجود مستويات داخلية (flaw state) متمثلة بمراكز القنص ومراكز الالتئام (20) وفي العينة Fe0.64 Mn 0.06Al 0.30 نلاحظ نقصان في التوصيلية الكهربائية يعزى إلى نقصان في التحركية , لآن العينة المطعمة في هذه الحالة لا تلعب دور المانح فقط بل تؤثر أيظا على التركيب البلوري فتقلل من حجم الحبيبات و نتيجة لذلك تزداد عمليات التشتت للإلكترونات مع حدود الحبيبات٠ تتفق هذه النتائج مع نتائج التأثيرات الكهروحرارية لنفس العينات التي توصل إليها (13) في تحقيق العلاقة العكسية بين معامل سيباك والتوصيلية الكهربائية حيث لاحظ نقصان في معامل سيباك بازدياد درجة الحرارة لجميع العينات ٠

الجدول(1): يوضح قيم التوصيلية الكهربائية عند درجات الحرارة 305º K و390º ºK و440ºK للسبائك Fe0.70 - xMnxAl0.3

الصيغة الكيميائية	σ (ohm-cm)-1		
	305ºK	390º K	440ºK
Fe0.66Mn0.04Al0.30	0.8	3.45	4
Fe0.64Mn0.06Al0.30	9.6	8.25	7.8
Fe0.62Mn0.08Al0.30	13.8	14.2	15.1
Fe0.60Mn0.10Al0.30	22.15	21.9	21.6
$Fe_{0.50}Mn_{0.20}Al_{0.30}$	23.1	23.7	24.5

المصادر

1-Sze,S.M., John wiley and Sons, INC., USA 1969.

2- Nemen ,D.A. . Richard D.Tiwin Inc.(USA) 1992.

3-Omar.A , Adeson Wesely, world student series edition (USA),1975.

4-Epperson J.E., and Spruiell,J.E. , J. Phys. Chem. Solid, Vol. 30 1721-1732.1969

5- Moison A.M , J.Magn. Mater. Vol.54-57,1091-1092,1978.

6- Plascak, J. A.,Alcazar G.A. and Galvao E., PRC. World ScientificPublishing. 1990.

7-Sanchez A.J. , Alcazar G.A., Bohorquez A., Hyperfine Interaction,183-188, 1997.

8- Marco J.F., Zamora L.E. Alcazar G.A.,BohorquezA.and Gonzalez J.M , J.Appl. Phys.Vol.82, 6165- 6169,1997.

9- Tabares J.A., Zamora L.E., Alcazar G.A, Bohorquez A., ,J. Magn. Mater. Vol.137, 339-342.1994.

10- Okpalugo D.E .and Booth J.G.,J. Phys. F: Metal.Phys. Vol.15 p .681 and p. 2025. 1985

11- Guo G.Y.,Botton G.A. and Nishino Y., ,Vol 10, L119 L126., 1998

12- Sanchez J., Huo D., Kato T .,Kuwai T. Isikawa Y . and Mori

K ., Physica B. Vol .281 &282 pp.98-100 ,2000.
13- Huo D. and Dexon et .al , J. Phys.Soc. Jap. 68 ,3377-3382,1999 .

14الجبوري - , عبدالله محمود, أطروحة ماجستير –جامعة تكريت .2001

15 – الرحمن ,روزة برهان الدين ,أطروحة ماجستير –جامعة تكريت (2001)

16 – زي ،اس،ام، نبائط اشباة الموصلات فيزيائتة وتقنية ،ترجمة د، فهد غالب حياتي و د،حسين علي احمد ,دار الحكمة للطباعة والنشر ,جامعة الموصل 1990,

17– جليل ،موفق ,رسالة ماجستير –قسم الفيزياء– كلية العلوم – جامعة صلاح الدين 1990،

18–روي ا ،كولك لايسر، شيراديهل،باجل، المواد والنبائط للمهندسين الكهربائيين والفيزياويين ,ترجمة باسيلي رفعت رزق ,مطبعة دار الحكمة ,جامعة البصرة،(1992)،

19– شهاب ،عليه عبد الحسين,اطروحة ماجستير –كلية العلوم–جامعة بغداد, (1985)

20-Omar M.S,AmeenI M.M., Murad I.M., Hanna M .H., Zanco Vol.1,55-65.,(1988).

THE ELECTRICAL CONDCTIVITY OF THE COMPOUNDS MAGNETIC Fe-Mn-Al

Kaehm Ahmad Mohammed
Universty of Mosel
Education

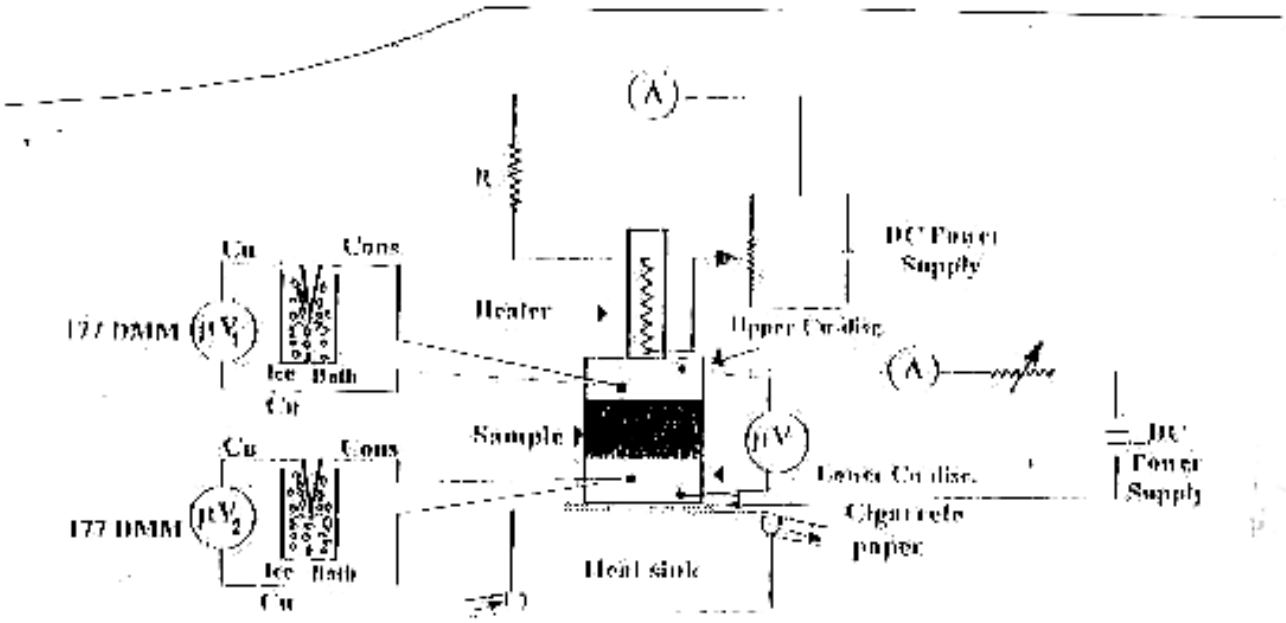
Sabrie Jaseem Mohammed
Universty of Tikrit College of
College of Education

Rosure Borhan Alden
Universty of Karkyk \ College of Science

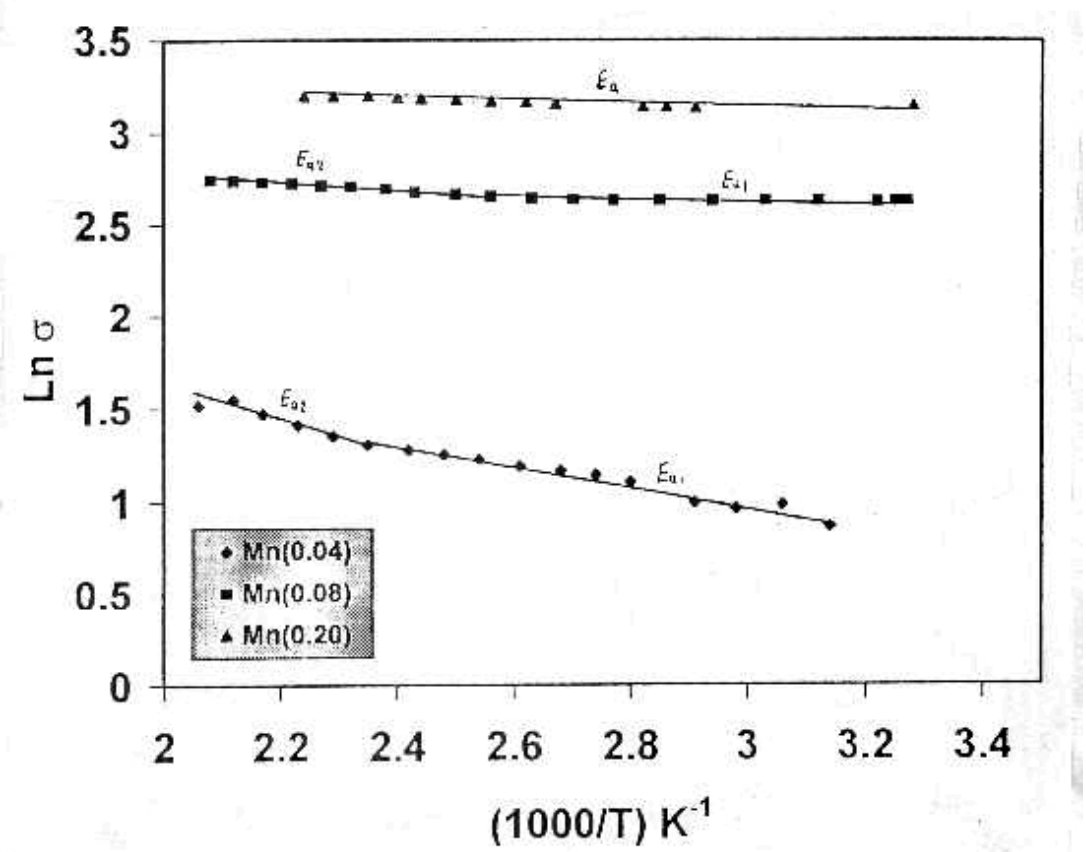
The electrical conductivity as a function of temperature for the polycurystallin magnetc Iron-Manganese-Aluminum, Feo,o7-xMn xAl0.03 , alloys for the mangnese concentration (X= 0.20,0.10 ,0.04, 0.06, 0.08) in the temperature range 300ºK to 500º K .

These results shows that the electrical conductivity increases as temperature rises for all alloys except those of Fe0.64Mn0.06Al0.30and Fe0.60Mn0.10Al0.30 where it decreases as temperature rises exhibiting a metal properties .

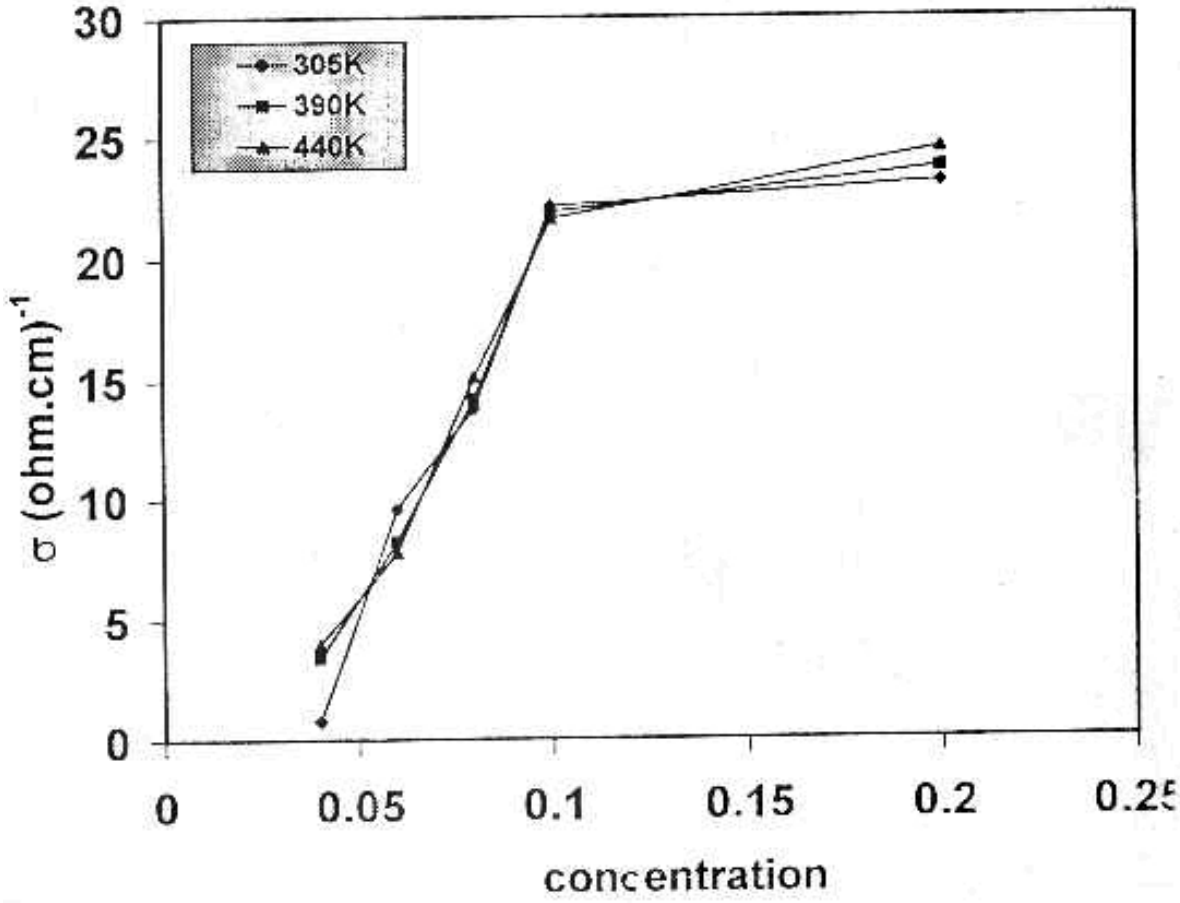
The electron are the majority charge carriers in these alloys .



الشكل (1) الدائرة الكهربائية المستخدمة في قياس التوصيلية الهربائية (σ) مع درجة الحرارة (T) لعينات $Fe_{0.70-x}Mn_xAl_{0.30}$



الشكل (3) علاقة (Ln σ) مع (1000/ T) لعينات
$Fe_{0.70-x}Mn_xAl_{0.30}$



الشكل (4) علاقة التوصيلية الكهربائية (σ) لعينات $Fe_{0.70-x}Mn_xAl_{0.30}$ مع تركيز Mn