

دراسة طيف الأشعة تحت الحمراء للمركبات $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$

حذامه عبد محمد سليمان

قسم الفيزياء / كلية التربية

جامعة الموصل

القبول

2012 / 02 / 01

الاستلام

2011 / 09 / 28

Abstract

The Infrared spectroscopy in the frequency range (400 cm^{-1}) to (1000 cm^{-1}) of $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ compounds at room temperature have been investigated. These compounds result from the solid state reaction of the Fe_2O_3 and MgO oxides at high temperatures around (1000 C°). The infrared spectrum of these compounds show two main absorption bands; the first band, ν_1 is caused by the stretching vibrations at the tetrahedral sites and the second band, ν_2 is caused by the stretching vibrations at the octahedral sites of the lattice structure. Values of ν_1 are higher than ν_2 . Moreover, the force constants of the bonds at the tetrahedral sites, F_{tet} and octahedral sites, F_{oct} have also been calculated. Values of F_{tet} are higher than those of F_{oct} . The results of this study agree quite well with the related studies for these compounds.

الخلاصة

تم في هذا البحث دراسة طيف الأشعة تحت الحمراء في مدى الترددات (400 cm^{-1}) الى (1000 cm^{-1}) في درجة حرارة الغرفة للمركبات $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ الناتجة عن تفاعل أكسيد الحديد، Fe_2O_3 وأكسيد المغنيسيوم، MgO والمحضرة بطريقة تفاعل الحالة الصلبة في درجات حرارية عالية حوالي (1000 C°). أظهرت هذه المركبات امتلاكها لحزمتي امتصاص رئيسيتين سببهما الاهتزازات في مواقع رباعي السطوح، ν_1 والاهتزازات في مواقع ثماني السطوح، ν_2 . كانت قيم حزم الامتصاص، ν_1 أعلى من قيمها لمواقع ثماني السطوح، ν_2 . كما تم القيام بحساب ثوابت القوة للاواصر بين الايونات الموجبة، Fe^{3+} وايونات الاوكسجين، O^{2-} في مواقع رباعي السطوح، F_{tet} ومواقع ثماني السطوح، F_{oct} . كانت قيم، F_{tet} أعلى منها لقيم، F_{oct} . جاءت هذه النتائج مطابقة لنتائج الدراسات المشابهة لهذا النوع من المركبات.

المقدمة

أظهرت معظم التطبيقات التكنولوجية في مجال التسجيل المغناطيسي بأنواعه المختلفة وصناعة المواد العازلة المستخدمة في أجهزة الاتصالات ذات الترددات المايكروية وحتى الترددات الراديوية وصناعة المغناط الكهربية الدائمة وصناعة ذاكرة الحاسبات الإلكترونية وفي الأجهزة الطبية ذات الدقة العالية، وغيرها من المجالات، أظهرت حاجتها الى مواد كهربية ومغناطيسية ذات مواصفات معينة مثل مقاومتها النوعية العالية وقيمة منخفضة لفقدان للتيارات الدائمة. ومن اهم المواد التي يتوافر فيها هذه الخصائص هي المواد المغناطيسية المعروفة بالفريتات أو الفرايت (Ferrites) [1-2]. ان اساس الخاصية المغناطيسية لهذه المواد هو عدم تكافؤ العزوم المغناطيسية في مواقع الشبكة المختلفة حيث يكون فيها العزوم المغناطيسية غير متكافئة مما ينتج عنه الخاصية الفيرومغناطيسية (Ferrimagnetism). تمتلك هذه الخاصية المغناطيسية عدد كبير جدا من المركبات ذات الصيغة الكيميائية $TMO.Fe_2O_3$ إذ يمثل TM عنصر انتقالي ثنائي التكافؤ مثل المغنيسيوم، Mg والزنك، Zn والنيكل، Ni والكوبلت، Co غيرها [3].

يتمثل التركيب البلوري لهذه المركبات بما يعرف بتركيب السبينيل. تحتوي وحدة الخلية لهذا التركيب على 56 أيون منها 32 أيون أكسجين، مشكّلة شبكة مكعبة محكمة الرص ممرّكة الأوجه. يتميز في هذا التركيب مجموعتان من المواقع: المجموعة الأولى تسمى مواقع A وكل منها يحاط بأربع أيونات أكسجين وتعرف أيضا بمواقع رباعي السطوح (Tetrahedral Sites) والمجموعة الثانية تسمى مواقع B وكل منها يحاط بست أيونات أكسجين وتعرف أيضا بمواقع ثماني السطوح (Octahedral Sites).

هناك نوعان من تركيب السبينيل [3]:

السبينيل الطبيعي (Normal Spinel): والذي تشغل فيه كل أيونات العنصر الانتقالي ثنائي التكافؤ، TM مواقع رباعي السطوح بينما تشغل أيونات الحديد ثلاثية التكافؤ Fe مواقع ثماني السطوح، كما في الصيغة $[TM^{2+}]_{tet}[Fe_2^{3+}]_{oct}O_4^{2-}$. ومن أمثلتها فريتات الزنك، $ZnFe_2O_4$ وفريتات الكادميوم، $CdFe_2O_4$. أثبتت العديد من الدراسات ان الأيونات الانتقالية ثنائية التكافؤ مثل أيونات الزنك وأيونات الكادميوم تفضل مواقع رباعي وتحتل أيونات الحديد Fe^{3+} بين مواقع ثماني السطوح [4].

والسبينيل المعكوس (Inverse Spinel): والذي تشغل فيه أيونات TM مواقع رباعي السطوح بينما تتوزع أيونات الحديد Fe بالتساوي بين مواقع رباعي السطوح ومواقع ثماني السطوح. كما في الصيغة $[Fe^{3+}]_{tet}[TM^{2+}Fe^{3+}]_{oct}O_4^{2-}$. ومن أمثلتها فريتات النيكل، $NiFe_2O_4$ [5]

والنحاس، $CuFe_2O_4$ [6] والكوبلت، $CoFe_2O_4$ [7] والمغنيسيوم، $MgFe_2O_4$ [8]. أثبتت العديد من الدراسات ان الأيونات الانتقالية ثنائية التكافؤ مثل أيونات النيكل والنحاس والكوبلت تفضل مواقع ثماني السطوح وتتنوع أيونات الحديد بين مواقع ثماني السطوح ورباعي السطوح. هناك نوع آخر من الفريتات يمكن ان نسميه الفريتات الخليطة والذي يمكن تصنيف هذه الفريتات الى نوعين:

النوع الأول: والذي يضاف فيه عنصران او أكثر من العناصر الانتقالية والتي يمكن تمثيل تركيبها الكيميائي بالصيغة الكيميائية الآتية: $TMFe_2O_4$ (TM=Mg, Cu, Zn, Ni, Co) ومن أمثلة هذه الفريتات فريتات المغنيسيوم - زنك، $Mg-Zn$ [9] وفريتات النيكل-زنك، $Ni-Zn$ [10] وغيرها.

النوع الثاني: من الفريتات الخليطة هي الفريتات التي يستعاض فيها عن بعض ذرات الحديد ثلاثية التكافؤ بذرات ثلاثية التكافؤ ولكنها غير مغناطيسية مثل عنصر الألمنيوم Al او ذات مغناطيسية منخفضة مثل عنصر الكروم Cr إضافة الى الحديد Fe. يمكن تمثيلها بالصيغة الكيميائية الآتية: $TM(MFe)_2O_4$ (TM=Mg, Zn, Ni, Co, Cd and M=Al, Cr) $NiCr_xFe_{2-x}O_4$ [11] وفريتات المغنيسيوم-كروم، $MgCr_xFe_{1-x}O_4$ [12] وفريتات المغنيسيوم-المنيوم-كروم $MgAl_xCr_xFe_{2-2x}O_4$ [13] ووجد بان هذه الفريتات حافظت على تركيب السبينيل الا ان خصائصها الكهربائية والمغناطيسية قد تأثرت بشكل كبير.

غالبا ما يتم استخدام قياسات طيف الاشعة تحت الحمراء للتأكد من أكمال عدد من العمليات خلال عملية تحضير عينات الفريتات ومنها: أكمال تفاعل الحالة الصلبة وتوزيع الأيونات الموجبة في التركيب البلوري وتشوه تكوين تركيب السبينيل المكتمل (التام) وترتيب الأيونات الموجبة وقياس قيم ثوابت القوة في مواقع رباعي وثمانى السطوح في هذه المركبات. أظهرت الدراسة [14] ولأول مرة بان طيف امتصاص الاشعة تحت الحمراء في الفريتات ذات التركيب السبينيل الاعتيادي والمعكوس يحتوى على اربع ترددات متميزة وواضحة لامتصاص العميق. تعود الثلاثة الاولى منها الى أمتصاص التراكيب في مواقع رباعي السطوح وثمانى السطوح بينما يعزى التردد الرابع الى بعض ترددات الشبكة للأيونات الموجبة في مواقع رباعي السطوح وكما يأتي:

الحزمة الأولى سببها الترددات في مواقع A وهي الآصرة $O^{2-} - Fe^{3+}$.

الحزمة الثانية سببها الترددات في مواقع B وهي الآصرة $O^{2-} - Fe^{3+}$.

الحزمة الثالثة سببها الترددات في مواقع B وهي الآصرة $O^{2-} - TM^{2+}$.

الحزمة الرابعة سببها الترددات في مواقع ثنائي السطوح للاواصر $\text{Fe}^{2+} - \text{O}^{2-}$ والواصر $\text{TM}^{2+} - \text{O}^{2-}$ اذ تمثل TM عنصر ثنائي التكافؤ في مواقع ثنائي السطوح تعتمد قيم هذه الحزمة على كتلة العنصر الانتقالي ثنائي التكافؤ.

ان الهدف من هذه الدراسة هو القيام بتحضير عينات فريتات المغنيسيوم بخلط مركبات اوكسيد Fe_2O_3 واوكسيد المغنيسيوم MgO والقيام بدراسة طيف امتصاص الاشعة تحت الحمراء في العينات الناتجة. من الجدير بالذكر انه تم دراسة خاصيتي التوصيلية الكهربائية والقدرة الكهروحرارية وطيف حيود الاشعة السينية لهذه العينات. ان تفاصيل هذه الدراسة منشورة في المصدر [15] اشارة تلك الدراسة الى أن تركيب المركبات الحاوية على قيم $(x \neq 0.5)$ تكون مختلفة بعض الشيء عن العينة الحاوية على $(x=0.5)$ ويعزى هذا الى احتوائهما على بقايا من اوكسيد الحديد (Fe_2O_3) واوكسيد المغنيسيوم (MgO) لم يتم تفاعلها بصورة تامة، وقد تحتوي هذه العينات على أطوار ثانوية أخرى أكثر تعقيدا.

تحضير العينات

تم تحضير عينات فريتات المغنيسيوم بخلط مركبات اوكسيد Fe_2O_3 واوكسيد المغنيسيوم MgO وحسب النسب المثبتة في المركب. تم سحق هذه الاكاسيد سوية في بوتقة العقيق (agate mortar) لمدة كافية لاجل الحصول على خليط متجانس من هذه الاكاسيد. ثم يوضع خليط هذه الاكاسيد لكل مركب في الفرن الكهربائي ويتم تسخينها لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة 1000 درجة مئوية. ثم يطفأ الفرن وتترك العينات داخل الفرن لمدة 24 ساعة لتبرد ببطأ الى درجة حرارة الغرفة. ثم يعاد سحق المركبات المذكورة لمدة كافية لرفع درجة التجانس قدر الامكان. ثم توضع في الفرن وترفع درجة حرارتها الى 1100 درجة مئوية لمدة 24 ساعة اخرى. ثم يطفأ الفرن وتترك العينات داخل الفرن لمدة 24 ساعة لتبرد ببطأ الى درجة حرارة الغرفة.

يعاد سحق المركبات الناتجة لغرض تهيئة العينات لقياسات الاشعة تحت الحمراء بخلط كمية قليلة جدا من العينة مع كمية كافية من مادة بروميد البوتاسيوم (KBr) الصلب. يوضع الخليط المخلوط جيدا في قرص دائري ويتم ضغطها باستخدام مكبس هايدروليكي وبضغط (10 tons/cm²) للحصول على قرص جيد للقياسات. تم إجراء قياسات الأشعة تحت الحمراء في درجة حرارة الغرفة في المدى 400 cm^{-1} الى 1000 cm^{-1} باستخدام جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء نوع (ELMER-1430).

النتائج والمناقشة

أظهرت نتائج امتصاصات طيف الاشعة تحت الحمراء حزم امتصاص عند ترددات معينة سببها الرئيسي هو اهتزازات أيونات الأوكسجين مع الأيونات الموجبة ينتج عنها ترددات مختلفة لوحدة الخلية. تعتمد هذه الترددات على عدة عوامل منها كتلة الأيونات الموجبة

ومعاملات الشبكة وأواصر الأوكسجين-الأيون الموجب وغيرها. يوضح الشكل (1) والجدول (1) طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعينات المدروسة في مدى الترددات 400-1000 cm^{-1} . يظهر هذا الطيف حزمتي امتصاص رئيسيتين في مدى الترددات الأقل من 1000cm^{-1} وهي صفة تكاد تكون عامة لجميع الفريتات. يوضح هذا الشكل مواقع حزم الامتصاص، حزمة الامتصاص العالية، ν_1 كانت عند الترددات $(542, 570, 546)\text{cm}^{-1}$. ولحزمة الامتصاص الواطئة، ν_2 كانت عند الترددات $(475, 436, 448)\text{cm}^{-1}$ للعينات الحاوية على تركيز اوكسيد المغنيسيوم بنسبة (0.75, 0.50, 0.25) على التوالي. تتفق هذه القيم مع قيم الترددات لفريتات المغنيسيوم MgFe_2O_4 الواردة في الدراسة [13] حيث كانت قيم ν_1 و ν_2 مساويتان الى 585cm^{-1} و 440cm^{-1} على التوالي وكذلك مع نتائج الدراسة [14] حيث كانت قيم ν_1 و ν_2 مساويتان الى 565cm^{-1} و 430cm^{-1} على التوالي. يعود الاختلاف بين نتائج الدراسات المختلفة الى اختلاف طرائق التحضير والمعالجة الحرارية ذات التأثير البالغ على طبيعة المادة الناتجة. ان وجود حزمتي امتصاص رئيسيتين في طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء هو احد الأدلة العملية على وجود تركيب السبينيل التام الذي يمتلك الشبكتين الفرعيتين (sublattices): يشير التردد الاول ν_1 الى ترددات الأواصر $\text{Fe}^{3+}-\text{O}^{2-}$ في مواقع رباعي السطوح مواقع A ويشير التردد الثاني ν_2 الى ترددات الأواصر $\text{Fe}^{3+}-\text{O}^{2-}$ الى مواقع ثماني السطوح- مواقع B. ان الاختلاف بين الترددين ν_1 و ν_2 هو نتيجة الاختلاف بين طبيعة الأواصر المذكورة في الموقعين المذكورين. ان أحلال بعض أيونات المغنيسيوم (وهي أصغر في الحجم والكتلة) مكان أيونات الحديد في مواقع ثماني السطوح هو السبب الرئيس في تغير قيم التردد الثاني ν_2 .

أظهر طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للعيينة ($x=0.75$) الحزمة الثالثة (ν_3 444 cm^{-1}) بصورة واضحة، تعزى الحزمة الثالثة الى ترددات الأصرة $\text{Mg}^{2+}-\text{O}^{2-}$ في مواقع ثماني السطوح. لم يظهر هذا الطيف أثرا لوجود الحزمة الرابعة، ν_4 والسبب في ذلك يعود الى احتمال وقوع هذ الحزمة (ان وجدت) خارج مدى قياس الجهاز المستخدم لأن قيمتها ستكون بالتأكيد اقل من قيمة تردد الحزمة الثالثة، اي انها قيمتها ستكون أقل من 400cm^{-1} .

أوضحت بعض الدراسات الى ان وجود الايونات Fe^{2+} في مركبات الفريتات يمكن ان يؤدي الى انشطار حزمة الامتصاص وظهور ما يسمى بالكتف (shoulder)، يشار له في بعض الاحيان بالتردد الخامس ν_5 . ان وجود مثل هذه الايونات يسبب تشوها تركيبيا موضعيا (local deformation) في الشبكة، وسيكون تردد هذا الكتف اعلى من تردد الحزمة الأولى، لم يظهر هذا الكتف بشكل واضح للعيان، ولكن ظهر ما يمكن اعتباره أثرا بسيطا لوجود مثل هذا الكتف وخاصة في العينة الحاوية على ($x=0.75$) كما يوضحه الشكل(1). من المعلوم ان أيونات المغنيسيوم تفضل مواقع ثماني السطوح بنسبة تزيد على % 90 بينما تذهب بقية

الأيونات الأقل من 10 % مواقع رباعي السطوح. ان اضافة ايونات المغنيسيوم واحتلالها لمواقعها في مواقع -A (وان كانت أقل من 10 %) سيؤدي الى ازاحة عدد مساو لها من أيونات الحديد من مواقع A الى مواقع B. يوضح الشكل (2) طيف حيود الاشعة تحت الحمراء لأكسيد المغنيسيوم النقي MgO [16] وأكسيد الحديدي النقي Fe_2O_3 [17] وتم عرضها لغرض المقارنة.

أوضحت نتائج هذه الدراسة الى ان العينة الحاوية على $(x=0.5)$ اظهرت حزمتي امتصاص تامتين وأكثر وضوحا من العينتين الباقيتين وهذه احدى خصائص الفريتات ذات تركيب السبينيل التام. تم الاشارة في الدراسة [15] الى ان العينتين الحاويتين على $(x=0.25, 0.75)$ قد تحتويان على بقايا من اوكسيد المغنيسيوم ووكسيد الحديد غير تامة التفاعل وان التركيب الحاوي على $(x=0.50)$ هو الاقرب الى تركيب السبينيل التام. وهذه ما ايدته هذه الدراسة وكما يوضحه حيود طيف الاشعة السينية المبين في الشكل (2) لتلك الدراسة. كما يوضح الشكل (3) طيف حيود الاشعة السينية للمركب MgO [16] والمركب Fe_2O_3 [17] وتم عرضها لغرض المقارنة.

يمكن حساب ثابت القوة (Force constant) لمواقع رباعي السطوح F_{tet} للترددات ν_1

وثمانى السطوح F_{oct} للترددات ν_2 باستخدام العلاقات الاتية [6]:

$$F_{tet} = 4 \pi^2 c^2 \nu_1^2 \mu \quad (1)$$

$$F_{oct} = 4 \pi^2 c^2 \nu_2^2 \mu \quad (2)$$

اذ تمثل كلا من c^2 سرعة الضوء $(c=2.99 \times 10^{10} \text{ cm/s})$ و ν_1 و ν_2 تردد الاهتزازات عند مواقع A و B على التوالي و تمثل μ الكتلة المختزلة (reduced mass). لأيونات Fe^{3+} و O^{2-} . [6]

في البداية يجب حساب قيمة μ السماوية الى

$$\mu = (m_1 * m_2) / (m_1 + m_2) \quad (3)$$

حيث تمثل m_1 و m_2 كتلة أيون الحديد Fe^{3+} وكتلة أيون الاوكسجين O^{2-} والمساويتان الى $9.2728 \times 10^{-23} \text{ gm}$ و $2.6565 \times 10^{-23} \text{ gm}$ على التوالي. وبناء على ذلك فان قيمة μ ستكون مساوية الى $2.06 \times 10^{-23} \text{ gm}$. يوضح الجدول (2) قيم ثابت القوة التي تم الحصول عليها. تتطابق نتائج ثابت القوة مع قيمها المناظرة لها في الكثير من الفريتات، كما في فريتات النحاس-زنك [6] وفريتات النيكل-زنك المطعمة بالكوبلت [18].

تتطابق هذه النتائج مع نتائج دراسات طيف الاشعة تحت الحمراء المشابهة للعينات الحاوية على النحاس Cu والعينات الحاوية على المغنيسيوم Mg حيث ان فريتات النحاس-الحديد تتشابه الى حد كبير مع فريتات المغنيسيوم-حديد اذ كلاهما يكوّن اسبينيل معكوس. يمكن القول ان أيونات المغنيسيوم تبدأ باحتلال مواقع ثمانى السطوح أولا وهذا سيؤدي الى هجرة ايونات الحديد من هذه المواقع الى مواقع رباعي السطوح ومن ثم الى استئالة أصرة الحديد -

أوكسجين وانخفاض في عدد الموجة للحزمة. ينعكس هذا التأثير في التراكيز العالية لأيونات المغنيسيوم حيث سيتحول الأحلال من مواقع رباعي السطوح الى مواقع ثماني السطوح، اي حدوث الهجرة المعاكسة لأيونات الحديد من مواقع ثماني السطوح الى مواقع رباعي السطوح، وهذا يفسر الانخفاض الذي حدث لقيم تردد الامتصاص ν_1 وارتفاعها لقيم الترددات ν_2 .

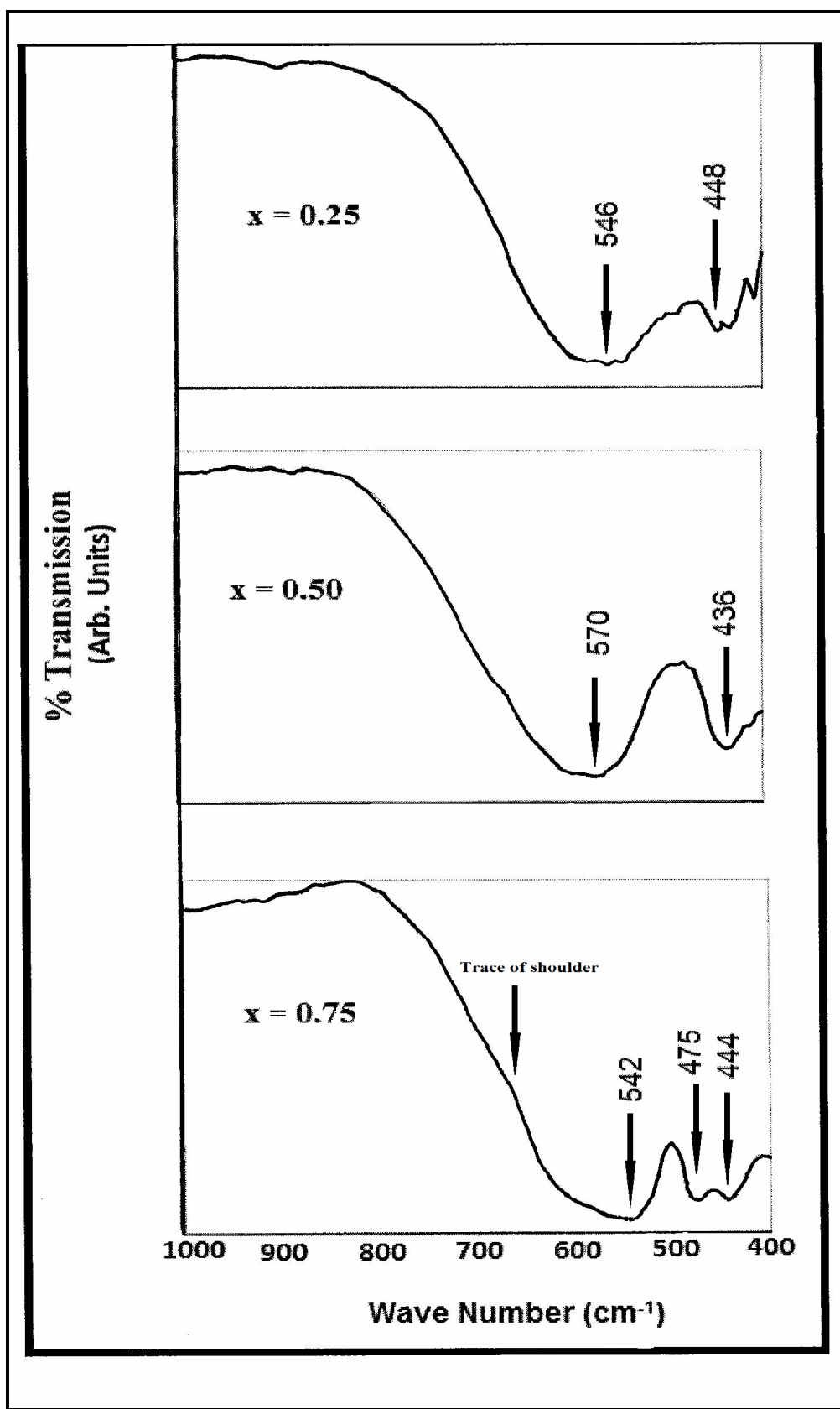
الاستنتاجات

أظهرت نتائج دراسة طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للمركبات $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ في مدى الطيف (400 cm^{-1}) الى (1000 cm^{-1}) عند درجة حرارة الغرفة الى وجود حزمتي امتصاص رئيسيتين للمركبات المذكورة. تعود حزمة الامتصاص الاولى (العالية) الى الترددات الواقعة في مواقع رباعي السطوح وتعود حزمة الامتصاص الثانية (الواطئة) الى الترددات الواقعة في مواقع ثماني السطوح في الشبكة. امتلكت حزمة الترددات الاولى قيمة أعلى من حزمة الترددات الثانية. أظهرت العينة الحاوية على $(x=0.75)$ حزمة ثالثة. لم تظهر هذه العينات أثرا للحزمة الرابعة لوقوعها خارج نطاق مدى قياس الجهاز المستخدم. كما أظهرت العينة الحاوية على $(x=0.75)$ أثرا بسيطا على وجود الكتف في الطيف عند تردد أعلى من الحزمة الاولى. تم استخدام نتائج حيود الاشعة تحت الحمراء في حساب قيم ثوابت القوة للاواصر بين الايونات الموجبة والسالبة في مواقع رباعي السطوح ومواقع ثماني السطوح. أظهرت قيم ثوابت القوة للاواصر في مواقع رباعي السطوح أعلى من قيمها في مواقع ثماني السطوح.

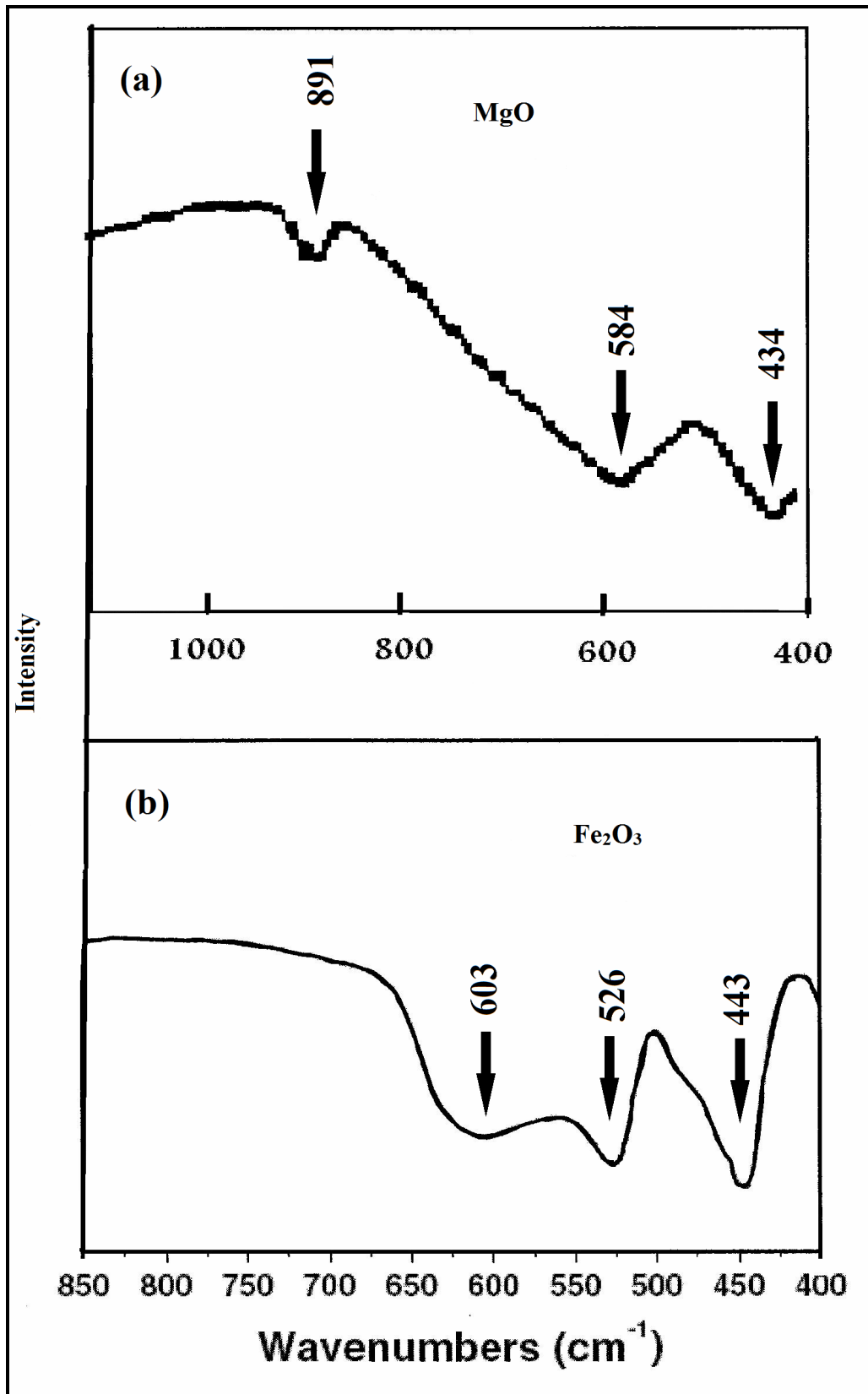
المصادر

- 1) Snelling E. C. (Ed.) 1988, "Soft Ferrites, Properties and Applications", 2nd ed., Butter Worth and Co. (Publisher) Ltd. London, (and references therein).
- 2) A. Goldman "Modern Ferrite Technology", 2nd Ed. Springer Science & Business Media, Inc. (2006).
- 3) K. J. Standley, "Oxide Magnetic Materials", 2nd Ed. Clarendon Press Oxford (1972).
- 4) M. Chakrabarti, D. Sanyal and A. Chakrabarti, "Preparation of $\text{Zn}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$ ($x=0.0, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7$ and 1.0) ferrite samples and their characterization by Mossbauer and positron annihilation techniques" J. Phys: Condensed Matter, Vol. 19 (2007) 1-11.
- 5) Kinemuchi Y., Ishizaka K., Suematsu H., Jiang W., Yatsui K. "Magnetic properties of nanosize NiFe_2O_4 particles synthesized by pulsed wire discharge". Thin Solid Films 407 (2002) 109-113.
- 6) Zaki H. M. and Dawoud H. A. "Far-Infrared Spectra for Copper-Zn mixed Ferrites". Physica B, 405 (2010) 4476-4479.
- 7) Lee J. G., Park J. Y., Oh Y-J and Kim C. S., "Magnetic Properties of CoFe_2O_4 thin films prepared by a sol-gel method" J. Appl. Phys. 84 (1998) 2801-2805.

- 8) Turkin A. I. and Drebuschak V. A., Synthesis and Calorimetric Investigation of Stoichiometric Fe-spinels: MgFe_2O_4 , J. Cryst. Growth. 205 (2004), 165-167.
- 9) Ladgaonkar B. P., Vasambekar P. N. and Vaingankar A. S., Effect of Zn^{2+} and Nd^{3+} Substitution on Magnetism and AC Susceptibility of Mg ferrite, J. Magn. Magn. Mater. 210 (2000), 289-294.
- 10) Ghazanfar U., Siddiqi S. A. and Abbas G. "Study of room temperature dc resistivity in comparison with activation energy and drift mobility of Ni-Zn Ferrites". Mater. Sci. Eng. B118 (2005) 132-134
- 11) A. M. Gismelseed and A. A. Yousif, Mossbauer study of chromium-substituted nickel ferrites. Physica B. Vol. 370 (2005) 215-222.
- 12) P. P. Hankare, V. T. Vader, U. B. Sankpal, L. V. Gavali, R. Sasikala and I. S. Mulla. "Effect of sintering temperature and thermoelectric power studies of the system $\text{MgFe}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_4$ ". Solid State Scienc. Vol. 11 (2009) 2075-2079.
- 13) Thummer K. P., Pandya M. P., Jani K. H., Modi K. B. and Joshi H. H., "Microscopic and Macroscopic Magnetic Properties of the $\text{MgAl}_x\text{Cr}_x\text{Fe}_{2-2x}\text{O}_4$ Spinel Ferrite System". Materials Science Vol. 40 No. 1 (2004).
- 14) R. D. Waldron, "Infrared Spectra of Ferrites", Phys. Rev. Vol. 99 (1955) 1727-1735.
- 15) Mohammed K. A. and Mohammed H. A. Electrical Conductivity and Thermoelectric Power of Iron-Magnesium $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ Compounds. J. Abhath Al- Yarmouk, Vol. 19, No. (1) (2010) 1-14.
- 16) T. Lopez, I. Garcia-Cruz and R. Gomez, "Synthesis of magnesium oxide by the Sol-Gel method: Effect of the PH on the surface hydroxylation". J. Catal. Vol.(127 (1991) 75-85.
- 17) N. Du, Y. Xu and H. Zhang, "Selective synthesis of Fe_2O_3 and Fe_3O_4 Nanowires via a single precursor: A general method for metal oxide nanowires", Nanoscale Res. Lett. Vol.5 (2010) 1295-1300.
- 18) M.A. Amer, A. Tawfik, A.G. Mostafa, A.F. El-Shora, S.M.Zaki "Spectral Studies of Co substituted Ni-Zn Ferrites". J. Magn. Magn. Mater. Vol.323 (2011) 1445-1452.

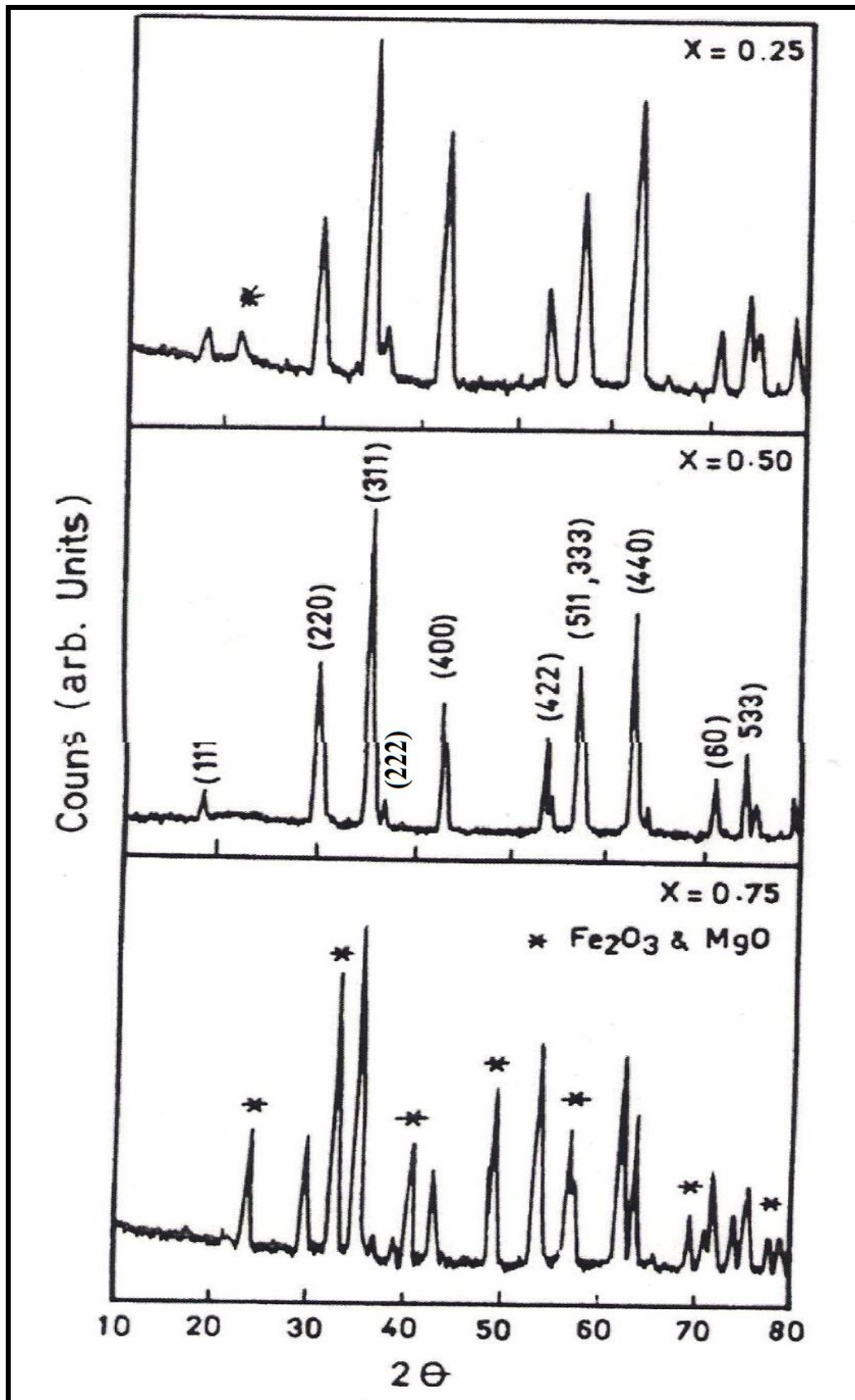


الشكل رقم (1): يوضح طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء للمركبات $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$

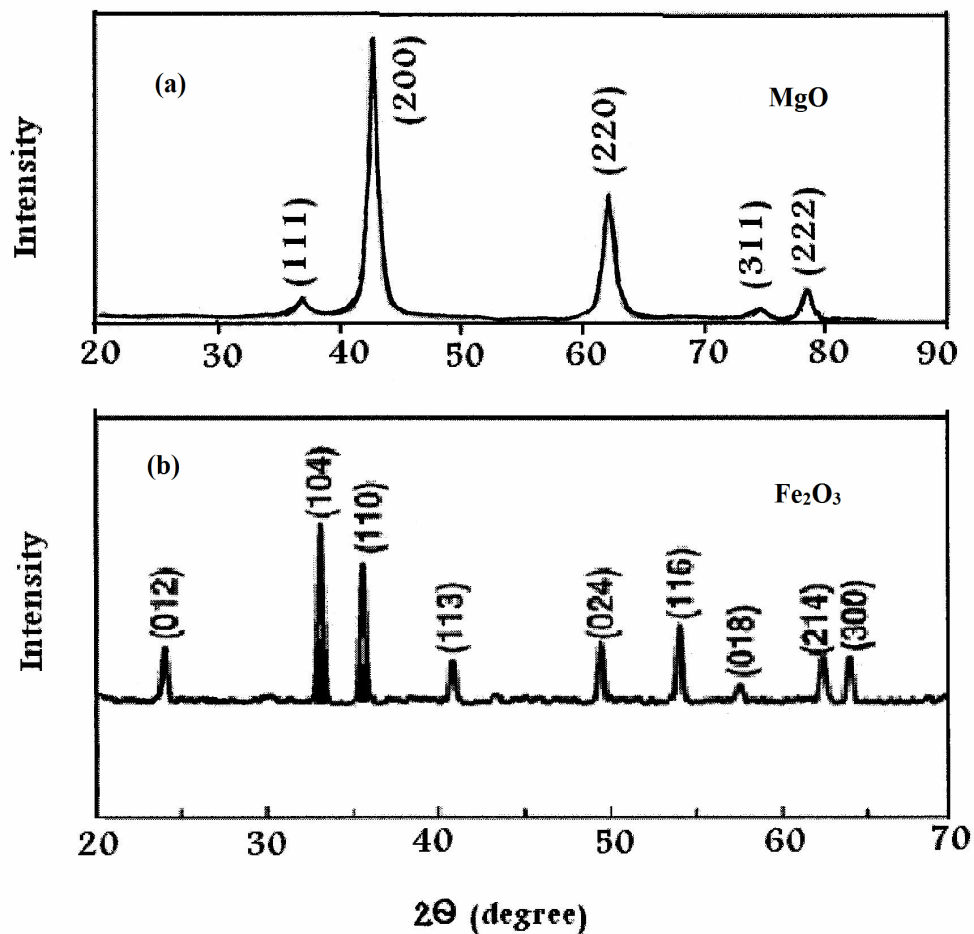


الشكل رقم (2): يوضح طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء:

(a) للمركب MgO [33] و (b) للمركب Fe₂O₃ [55]



الشكل رقم (3): يوضح طيف حيود الأشعة السينية للمركبات $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$ [15]



الشكل رقم (4): يوضح طيف حيود الأشعة السينية:

(a) للمركب $[\text{33}] \text{MgO}$ و (b) للمركب $[\text{55}] \text{Fe}_2\text{O}_3$

x	ν_1 (cm^{-1})	ν_2 (cm^{-1})	ν_3 (cm^{-1})
0.25	546	448	-----
0.50	570	436	-----
0.75	542	475	444

الجدول رقم (1): يوضح قيم امتصاص الأشعة تحت الحمراء للمركبات $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$

x	F_{tet} dyn/cm ($\times 10^5$)	F_{oct} dyn/cm ($\times 10^5$)
0.25	2.166	1.458
0.50	2.361	1.381
0.75	2.135	1.640

الجدول رقم (2): يوضح قيم ثوابت القوة للمركبات $(\text{MgO})_x(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{1-x}$