

C15 型 Laves 化合物 $Y\text{Mn}_2$ における磁性への乱れと元素置換の効果

Disorder and element substitution effects on magnetism of C15-type Laves compound $Y\text{Mn}_2$

○福島祥紘¹, 武井優樹², 石井博隆², 榎本蒼², 加藤勲也², 渡辺忠孝³
*Y. Fukushima¹, Y. Takei², H. Isihi², S. Enomoto², H. Kato², T. Watanabe³

Abstract: Laves phase intermetallic compound $Y\text{Mn}_2$ has the cubic crystal structure (Crystal system : C15 type (MgCu₂ type), Space group : $Fd-3m$). While $Y\text{Mn}_2$ exhibits an antiferromagnetic transition at $T_N \sim 100$ K, the small-amount substitutions of Sc for Y suppress the antiferromagnetic ordering. This suppression in $(Y_{1-x}\text{Sc}_x)\text{Mn}_2$ implies that, taking into account the Mn pyrochlore lattice structure in $Y\text{Mn}_2$, geometrical frustration is enhanced by the Y-site substitutions. We study disorder and element substitution effects on the magnetism of $Y\text{Mn}_2$ by investigating the structural, magnetic, and electric properties of polycrystalline $Y_{1-x}\text{Mn}_{2+x}$ and $Y(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$.

1. はじめに

Laves 化合物は AB_2 組成の 2 元系金属間化合物であり, その A サイトと B サイトは原子半径比が $A:B=1.225:1$ に近い値の組み合わせの希土類元素もしくは遷移元素から構成される. Laves 化合物の結晶構造は 1 種の稠密充填構造であり, 六方晶の C14 型(MgZn₂ 型), 立方晶の C15 型(MgCu₂ 型), 2 重六方晶の C36 型(MgNi₂ 型) の 3 種類がある. $Y\text{Mn}_2$ は C15 型 Laves 化合物の一種であり, Mn サイトがパイロクロア構造とよばれる頂点共有の四面体格子構造を形成している (Figure 1). このパイロクロア構造は, 磁性元素で構成される場合に幾何学的フラストレーションを生じる構造として知られている. 幾何学的フラストレーションとは, 磁性体において磁性イオン間に強い磁気相互作用が働くにもかかわらず, 結晶構造の幾何学的制約により磁気相転移が出来ない状況を指す. このような幾何学的フラストレーション磁性体では強いスピン揺らぎが生じる為, 新奇かつ多彩な量子現象と基底状態が創出する. $Y\text{Mn}_2$ はパイロクロア格子磁性体の一種であるが, ~ 100 K で構造相転移を伴った反強磁性転移を示す [1]. 一方, $Y\text{Mn}_2$ の Y サイトを数%の Sc で置換した $(Y_{1-x}\text{Sc}_x)\text{Mn}_2$ においては, 低温まで反強磁性転移を示さないことが過去の研究からわかっている [1]. このことは, $Y\text{Mn}_2$ において元素置換による化学圧力もしくは格子の乱れの導入によりフラストレーションが増強されることを示唆するものである. 我々は $Y\text{Mn}_2$ の磁性への格子乱れと元素置換効果を研究するために, $Y_{1-x}\text{Mn}_{2+x}$ と $Y(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$ の多結晶作製と物性評価を行ったので報告する.

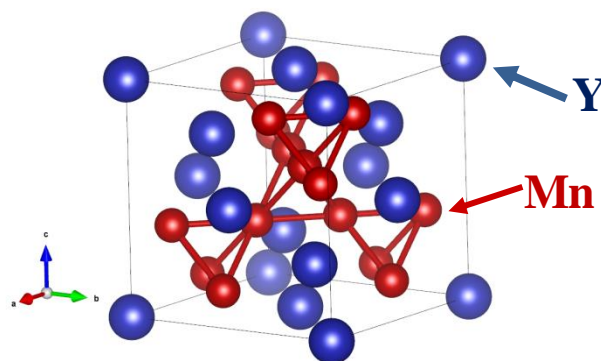


Figure 1. Crystal structure of C15-type Laves compound $Y\text{Mn}_2$.

2. 実験方法

$Y_{1-x}\text{Mn}_{2+x}$ 及び $Y(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$ の多結晶試料は, アルゴンガス雰囲気中でのアーク溶融法により作製した. 原材料には Y (99.9%) のインゴット, Mn (99.99%), Fe (99.99%) の粉末を使用した. 試料作製手順としては, まず化学量論比に従い, Y インゴットの重量を基準として Mn, Fe 粉末を秤量し, 5t で 20 分間 Mn, Fe 粉末を圧粉成形した. 次に, この圧粉体を Y インゴットとアーク溶融し凝固させた.

作製した多結晶試料は, 粉末 X 線回折 (XRD) 測定で結晶構造評価を行い, 物性評価として磁化率および電気抵抗率の温度依存性を測定した.

3. 実験結果

3-1. 粉末 X 線回折 (XRD) 測定

Figure 2 に $Y_{1-x}\text{Mn}_{2+x}$ の, Figure 3 に $Y(\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x)_2$ の多結晶試料における粉末 XRD パターンを示す. 主相として C15 型の Laves 構造が得られた.

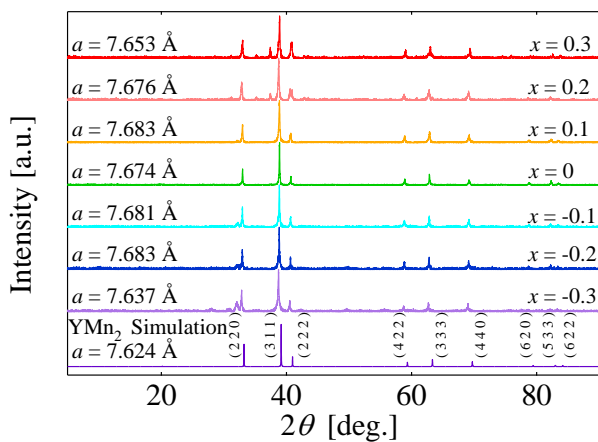


Figure 2. Powder XRD patterns of polycrystalline $Y_{1-x}Mn_{2+x}$.

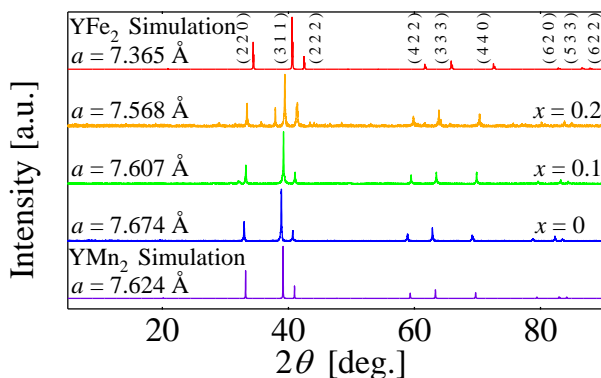


Figure 3. Powder XRD patterns of polycrystalline $Y(Mn_{1-x}Fe_x)_2$.

3-2. 磁化率測定

Figure 4 に $Y_{1-x}Mn_{2+x}$ の多結晶試料の磁化率の温度依存性を示す。~100 K での磁気転移が確認された。

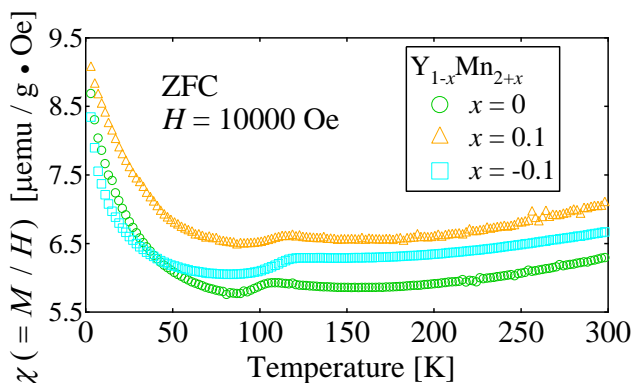


Figure 4. Temperature dependence of magnetic susceptibilities in polycrystalline $Y_{1-x}Mn_{2+x}$.

3-3. 電気抵抗率測定

Figure 5 に $Y_{1-x}Mn_{2+x}$ の, Figure 6 に $Y(Mn_{1-x}Fe_x)_2$ の多結晶試料における電気抵抗率の温度依存性を示す。 $Y_{1-x}Mn_{2+x}$ では ~60 K 以上の温度領域で降温・昇温の間に履歴が生じた。 $Y(Mn_{1-x}Fe_x)_2$ は温度の低下と共に電気抵抗率が減少する金属的な振舞いを示した。

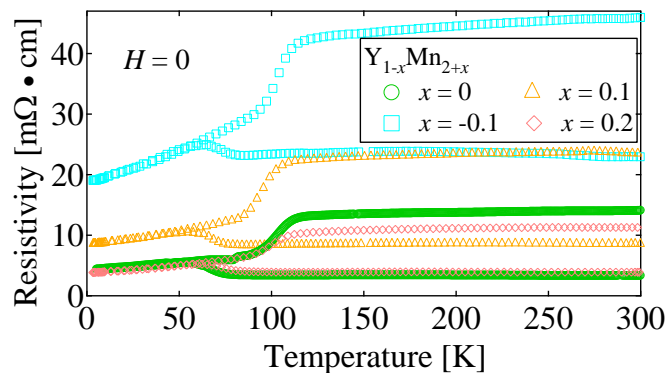


Figure 5. Temperature dependence of electrical resistivities in polycrystalline $Y_{1-x}Mn_{2+x}$.

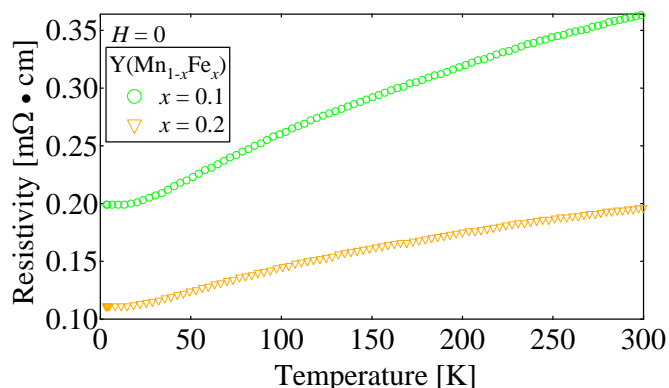


Figure 6. Temperature dependence of electrical resistivities in polycrystalline $Y(Mn_{1-x}Fe_x)_2$.

4. まとめ

$Y_{1-x}Mn_{2+x}$ と $Y(Mn_{1-x}Fe_x)_2$ の多結晶作製を行い、粉末XRD測定による結晶構造評価の結果、主相として C15 型 Laves 構造が得られたことがわかった。 $Y_{1-x}Mn_{2+x}$ においては、磁化率測定により ~100 K での磁気転移が確認された。 当日の発表では、 $Y(Mn_{1-x}Fe_x)_2$ の実験結果も含めてより詳細に報告をする。

5. 参考文献

[1] M. Shiga, Physica B **149**, 293 (1988).