

強磁場下における $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ ($0.08 \leq y \leq 0.15$) の特性 Magnetic properties of $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ ($0.08 \leq y \leq 0.15$) in high magnetic fields

島田大輔¹, 折橋広樹¹, 満永大輔¹, 廣井政彦¹, 小野寺礼尚², 高橋弘紀², 小山佳一¹,
鹿児島大・理¹, 東北大・金研²,

D. Shimada¹, H. Orihashi¹, D. Mitsunaga¹, M. Hiroi¹, R. Onodera², K. Takahashi², and K. Koyama¹

¹ Graduate school of science and engineering, Kagoshima University

² Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

Mn_2Sb は正方晶 Cu_2Sb 型の結晶構造(空間群 $P4/nmm$)をとり、キュリー温度 $T_C = 550$ K 以下でフェリ磁性(FRI)を示す。Mn に V, Cr, Co, Cu, Zn、または Sb に As, Ge, Sn を置換した物質は、温度低下に伴いフェリ磁性から反強磁性(AFM)に一次相転移を起こす[1]。 $\text{Mn}_{1.85}\text{Co}_{0.15}\text{Sb}$ の FRI-AFM 一次相転移において、単位包の体積や電気抵抗率、磁化の大きな変化が起こることが報告された[2-3]。さらに、AFM-FRI 磁気一次相転移のダイナミクスが磁場により抑制されることが見いだされ、カイネティックアレスト効果 (KA 効果) として報告された[2, 4]。磁場で磁気一次相転移を制御し、機能性を効果的に利用するためには磁場による KA 効果は抑える必要がある。

一方、Sb を Ge で一部置換すると $\text{Mn}_{1.85}\text{Co}_{0.15}\text{Sb}$ と同様に FRI-AFM 一次相転移が発現することが見出されているが[1]、その詳細な結果は未だ報告されていない。前年度我々は $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-x}\text{Ge}_x$ ($0.05 \leq x \leq 0.2$) について詳細に強磁場効果を調べ、KA 効果をおこさないことを見出し、また今までに報告のなかった $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ の合成に成功した。本研究の目的は、 $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ ($0.08 \leq y \leq 0.15$) の強磁場下における磁気的や電気的な性質を明らかにすることである。

2. 実験詳細

多結晶試料 $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ ($y = 0.08, 0.1, 0.15$) は、純度 99.9 % の Mn、純度 99.999 % の Sb、純度 99.99 % の Sn を組成比で秤量し、アルゴン雰囲気中でアーク溶解法を用いて合成した。その後、試料を真空石英管に入れ、923 K で 24 時間均質化熱処理を行った。室温での X 線回折測定により、得られた試料は単相であることを確認し、格子定数を決定した。

磁化 M および電気抵抗 ρ の測定は、東北大金研強磁場センターで行われた。 $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ のキュリー温度 T_C は試料振動型磁力計を用いた磁化測定により求めた。磁化測定は 1 T の磁場 B を印加し、室温から 600 K まで昇温した。強磁場下電気抵抗は 18 T-超伝道マグネットを使用し、 $4.2 \leq T \leq 280$ K、 $0 \leq B \leq 16$ T の範囲で測定した。

3. 実験結果と考察

Fig.1 に格子定数 a と c の Sn 濃度 y に対する変化を示す。 y の増加に従って a および c とも減少する傾向を示した。

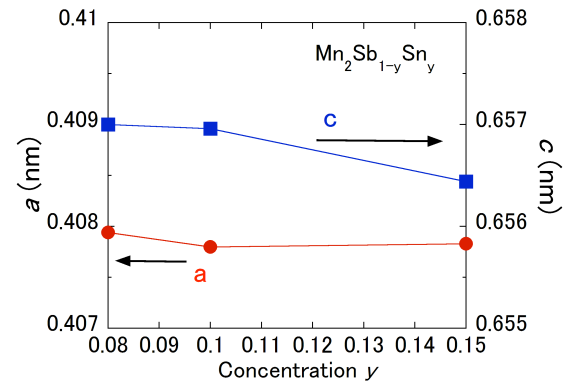


Fig.1. Concentration dependence of the lattice parameters a and c for $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$.

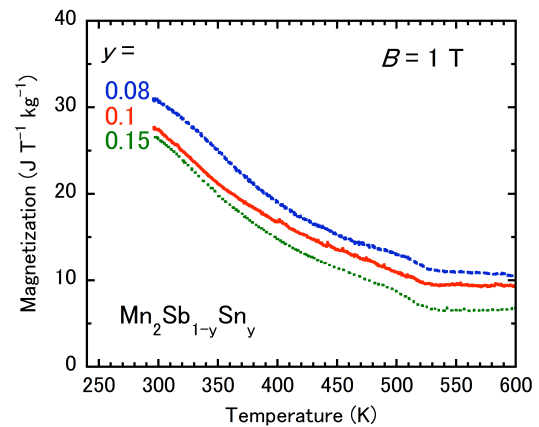


Fig.2. Temperature dependence of the magnetization.

Fig. 2 に $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ の $B = 1$ T における磁化 M の温度変化を示す。得られた磁化の温度変化はブリュアン関数に従わない。これは Mn-Zn や Ni-Zn、Co フェライト等のフェリ磁性体で見られる特徴的な変化である。よって、本研究ではアロット・プロット法ではなく、磁化の消失する温度で T_C を決定した。また、Fig. 2 に示すように、この温度範囲では FRI-AFM 磁気一次相転移はどの組成においても見られなかった。

Fig. 3 に(a) $y = 0.08$ と(b) $y = 0.1$ と(c) $y = 0.15$ のゼロ磁場および 16 T 中における電気抵抗 ρ の温度 T 依

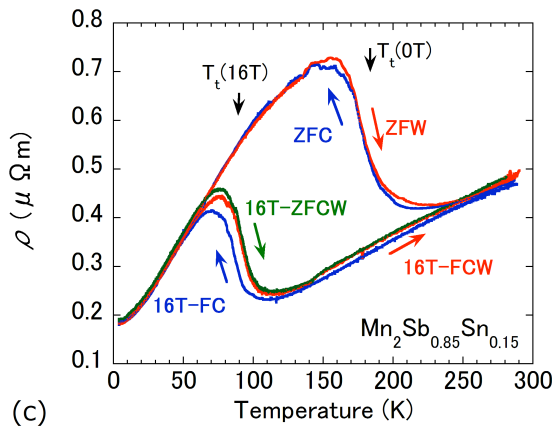
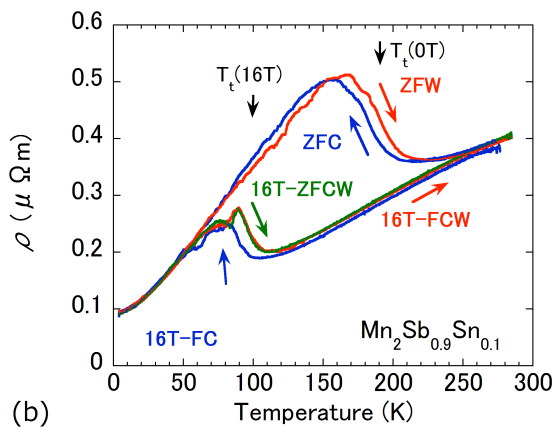
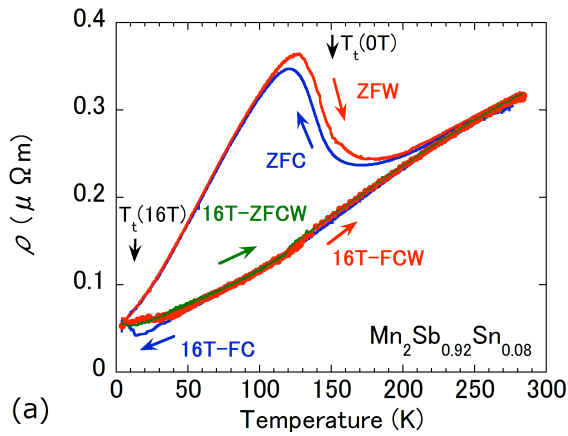


Fig.3. Temperature dependence of the electrical resistivity for $\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ with (a) $y = 0.08$, (b) $y = 0.1$ and (c) $y = 0.15$.

存性を示す。AFM 相の ρ は FRI 相のそれに比べ高い。そのため、FRI-AFM 磁気一次相転移に伴い ρ の急激な変化 ($\Delta\rho/\rho = 30\text{-}40\%$) が観測された。 $y = 0.08$ のゼロ磁場における T_t は 240 K で、磁場 16 T の磁場印加により 61 K 低温側へシフトし $T_t = 179$ K に達した。 $x=0.1$ の T_t は、ゼロ磁場で 266 K、磁場 16 T の磁場印加により 53 K 低温側へシフトし $T_t = 213$ K となっ

た。これは磁場を印加するとゼーマンエネルギーの利得のため、フェリ磁性相が安定となるためである。注目すべき点は、この物質の磁気一次相転移に伴うヒステリシス幅がかなり狭いこと、強磁場印加をしてもヒステリシス幅の増加が見られないことである。また、強磁場印加しても AFM 相の ρ の値がゼロ磁場のそれと一致しており、磁場による KA 効果が観測されなかった。これらの特徴は $\text{Mn}_{1.85}\text{Co}_{0.15}\text{Sb}$ の磁場中特性と異なっており、磁場誘起 KA 効果が単に FRI-AFM 磁気一次相転移の特徴ではなく、磁性原子サイトの乱れや磁気的不安定性に起因している可能性を示している。

$\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ 系は y の添加量によって磁気一次相転移を室温付近に制御でき、 $\Delta\rho/\rho = 30\text{-}40\%$ 程度の変化と狭い磁気ヒステリシスをもつが、さらに弱磁場で $\Delta\rho/\rho$ を制御できるようにする必要がある。

5. まとめ

$\text{Mn}_2\text{Sb}_{1-y}\text{Sn}_y$ 多結晶試料 ($y = 0.08, 0.1, 0.15$) について、 $4.2 \leq T \leq 600$ K、磁場 $0 \leq B \leq 16$ T の範囲で磁化と電気抵抗測定を行った。 y の増加とともに格子定数 a と c は減少し、 T_C も微量ながら 531 K ($y = 0.08$) から 526 K ($y = 0.15$) に低下する。電気抵抗測定によって決定した $y = 0.08$ のフェリ磁性—反強磁性一次磁気相転移温度 T_t は 150 K で、 $y = 0.1$ では $T_t = 190$ K、 $y = 0.15$ では $T_t = 183$ K である。16 T の強磁場を印加したとき、 $y = 0.08$ では $T_t = 12$ K に、 $y = 0.1$ では $T_t = 100$ K、 $y = 0.15$ では $T_t = 90$ K になった。

謝辞

本研究は科研費 22360285 の助成を受けて行いました。

参考文献

- [1] O. Beckman and L. Lundgren: Handbook of Magnetic Materials vol 6, ed K H J Buschow (Amsterdam: Elsevier) chapter 3, (1991) p 181-287
- [2] P. Kushwaha, et al.: J. Phys. Condens. Matter 20 (2008) 022204.
- [3] M.I. Bartashevich et al. Physica B 351 (2004) 71-76.
- [4] 折橋ら、日本金属学会誌 76 (2012) 246-250.