

平成21年 5月 28 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760495
 研究課題名 (和文) 磁場誘起相変態を利用したマンガン系次世代超磁歪材料の創製
 研究課題名 (英文) Research of the magnetic-field-induced phase transformation of the manganese alloy and its application to the giant magnetostrictive materi
 研究代表者
 菜嶋 理 (Nashima Osamu)
 東北学院大学・工学部・准教授
 研究者番号：00265183

研究成果の概要：三元合金 MnCoGe の格子体積が 600 K で生じる相変態により著しく変化することに注目し、これを利用した全く新しいタイプの超磁歪材料の可能性を探索した。本研究により我々は、MnCoGe の化学量論的組成からわずかに Co を減じることにより相変態を生じる温度が急激に減少し、その一方でキュリー温度は殆ど変化しないことを明らかにした。特に Co を 8%程度減じた試料では、マルテンサイト変態温度がキュリー温度を下回っており、相変態を磁場により誘起するための条件を満たしている。すなわち、MnCoGe は磁場誘起結晶構造相転移を利用した、新しいタイプの超磁歪材料として極めて有望であることが明らかにされた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	0	2,500,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	270,000	3,670,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：磁性、磁歪

1. 研究開始当初の背景

磁歪材料は、応答性が高速であること、発生応力が大きいこと、磁気駆動のため非接触で駆動できることなど、アクチュエータとして

優れた特長を持つ。特に、米国の Clark 等によって開発された Terfenol-D ($Tb_{0.3}Dy_{0.7}Fe_{2.0}$) は、現在すでに魚群探知機や平板スピーカなどの振動子として実用化されており、今後は発生応力の大きさを利用し

て機械やロボットの駆動部への応用が期待されている。また、近年、国内の研究グループ等により、Mn-Ni-Ga 合金や Fe-Pt 合金などの強磁性形状記憶合金と呼ばれる物質において双晶磁歪と呼ばれる新しい磁歪現象が観測され、大きな注目を集めている。双晶磁歪は、従来の磁歪とは異なる原理により発生するものであり、Terfenol-D の 10 倍以上にも及ぶ巨大な磁歪を生じる例も報告されている。

2. 研究の目的

(1) 前述のような背景のもと、我々は、通常の磁歪現象とも、双晶磁歪とも異なる、新しいタイプの超磁歪材料の可能性を調べた。具体的には、結晶構造相転移を有する強磁性体で、かつ相転移の前で磁気モーメントに変化があるような物質であれば、キュリー温度直上で相転移を外部磁場により誘起できるという現象を利用した超磁歪材料である。

(2) 本研究は、磁場誘起結晶構造相転移によって生じる磁歪を利用した全く新しいタイプの超磁歪材料の可能性を探索するものである。磁場誘起相変態による磁歪には、双晶磁歪と比較すると、発生応力の点で優位性がある。双晶磁歪は、格子定数の変化によって生じる従来の超磁歪材料の磁歪とは発生機構が根本的に異なり、その発生応力は結晶磁気異方性に大きく依存するため、Terfenol-D で観測されるような巨大な発生応力を得るのは非常に困難である。一方、磁場誘起相変態により生じる磁歪は、格子長の変化により発生する歪みであるという点については従来の超磁歪材料と同様であるため、従来の超磁歪材料と同等の大きな発生応力が期待できる。以上のように、本研究において目的と

される超磁歪材料は、強磁性形状記憶合金の双晶磁歪に匹敵する大きな発生歪みと従来の超磁歪材料に匹敵する大きな発生応力を兼ね備えるものである。アクチュエータの性能の尺度であるエネルギー密度は発生歪みと発生応力の積で与えられる。本研究において目的とされる超磁歪材料は、その発生歪みの大きさから、従来の超磁歪材料の数十倍のエネルギー密度を実現するだけのポテンシャルを有すると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 本研究はキュリー温度直上における磁場誘起結晶構造相転移を利用した新しいタイプの超磁歪材料の可能性を調べるものであるが、三元合金 MnCoGe は結晶構造相転移により非常に大きな体積変化を示す強磁性体であり、本研究の目的とするような超磁歪材料の候補として非常に有力である。ただしこの相転移はキュリー温度より高い温度で発生するため、このままでは本研究において必要とされる磁場誘起相転移は発生し得ない。そこで今回我々は、MnCoGe の組成比を変化させた試料を作製し、これら試料の磁性および結晶構造を系統的に調べ、磁場誘起結晶構造相転移の発生が可能となるような条件を明らかにする。

(2) MnCoGe の結晶構造相転移にともなう体積変化には極めて大きな異方性があり、これを超磁歪材料として有効に活用するためには単結晶を育成することが望ましい。そこで今回我々はテトラアーク炉を用いて、チョクラスキー法による単結晶の育成を試みた。

4. 研究成果

(1) 三元合金 MnCoGe は、結晶構造相転移とともに極めて大きな体積変化を示す強磁性体であり、キュリー温度より低い温度において結晶構造相転移を生じるような条件が明らかにされれば、我々の目的とする磁場誘起結晶構造相転移を利用した超磁歪材料が実現可能となる。我々は、今回の研究によって、 MnCoGe の化学量論的組成からわずかに Co を減じることにより Ni_2In 型から TiNiSi 型への相変態を生じる温度が急激に減少し、その一方でキュリー温度は殆ど変化しないことを明らかにした。特に Co を 8% 程度減じた試料では、マルテンサイト変態温度がキュリー温度を下回っており、相変態を磁場により誘起するための条件を満たしている。また、マルテンサイト温度がキュリー温度以下となった試料に対して窒素温度から 250°C までの X 線構造解析を行った結果、マルテンサイト変態が熱弾性型であることを確認した。これらの結果から、化学量論的組成から Co を 8% 程度減じた MnCoGe が磁場による相変態を生じる条件を満たすことが明らかになった。六方晶 Ni_2In 型から斜方晶 TiNiSi 型への相変態に伴い観測された体積変化は 5.5%、 Ni_2In 型の c 軸方向（これは TiNiSi 型の a 軸方向に対応する；図 1 参照）の格子長の変化は 11% であった。すなわち、この相変態によって、 MnCoGe は Terfenol-D の 50 倍以上の磁歪を発生する可能性を示したことになる。

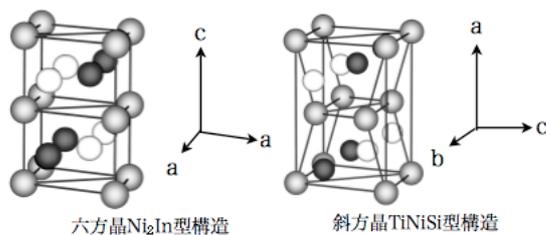


図 1. 結晶構造

(2) 我々はテトラアーク炉を用いてチョクラルスキー法による MnCoGe の単結晶化を目指したが、引き上げによる試料冷却の際に発生する相変態に起因する体積膨張によって試料が脆化し、単結晶を得ることができなかった。この点は今後の課題である。

(3) 今回我々は MnCoGe についての研究の他に、双晶変形を原理とする超磁歪材料の候補として知られるホイスラー型 Ni_2MnGa 系合金の研究も合わせて行った。特に、 Ni_2MnGa の Mn を Fe に置きかえたときに Fe の磁気モーメントが著しく増大することに注目し、 Ni_2MnGa の Mn の半分を Fe で置きかえ、さらに (MnFe) と Ga の組成比をずらした $\text{Ni}_2(\text{MnFe})_{1-x}\text{Ga}_{1-x}$ について、詳細な磁気相図を作成した。また、これと同じ結晶構造を持つホイスラー合金 Fe_2VSi の電子状態についての研究も合わせて行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

T. Kanomata, S. Murakami, D. Kikuchi, O. Nashima, H. Nishida, Magnetic properties of Ni-Mn-Fe-Ga ferromagnetic shape memory alloys, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, vol. 27, 215 - 224, 2008, 査読有

Y. T. Cui, A. Kimura, K. Miyamoto, M. Taniguchi, T. Xie S. Qiao, K. Shimada, H. Namatame, E. Ikenaga, K. Kobayashi, Hsin Lin, S. Kaprzyk, A. Bansil, O. Nashima, T. Kanomata, Chemical potential

shift of $\text{Fe}_{3-x}\text{V}_x\text{Si}$ studied by hard x-ray
photoemission, Physical Review B, vol. 78,
205113-1 - 205113-7, 2008, 査読有

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菜嶋 理 (Nashima Osamu)

東北学院大学・工学部・准教授

研究者番号: 00265183

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし