

## 産学共創基礎基盤研究プログラム 平成 28 年度事後評価結果

1. 研究課題名：ラティスエンジニアリングによる高磁化磁性材料の創製および高性能永久磁石材料の開発

2. 研究代表者：嶋 敏之（東北学院大学 工学部 教授）

### 3. 研究概要

本研究課題は、MnGa 系及び MnGe 系合金における磁性原子間距離を調整して、その交換相互を制御することで従来の Fe 系強磁性材料を置き換える Mn 系高飽和磁化および高磁気異方性磁性材料を開発することを目標としている。この目標を達成するために、エピタキシャル成長法及び疑単原子積層法による薄膜作製、第 3 元素置換および静水圧印加によるバルク Mn(Ga, Ge) 合金の格子定数制御を行い、磁気特性の変化を系統的に調べている。また、研究開始 2 年目からは第一原理計算グループを研究組織に加えて、第一原理計算の結果を参考にしながら研究が遂行されている。

### 4. 事後評価結果

#### 4-1. 研究の進捗状況及び研究成果の現状

L1<sub>0</sub>Mn<sub>x</sub>Ga 規則合金エピタキシャル薄膜では飽和磁化が  $M_s = 686 \text{ emu/cc}$  ( $J_s \sim 0.9 \text{ T}$ ) の飽和磁化と  $K_u = 1.66 \text{ MJ/m}^3$  の高磁気異方性を達成すると共に、疑単原子積層法（交互積層法）による D0<sub>22</sub>-Mn<sub>3</sub>Ge、非平衡 L1<sub>0</sub>-MnGa、非平衡 L1<sub>0</sub>-Mn(GeZn) 規則合金薄膜の作製方法を確立し、 $K_u > 1 \text{ MJ/m}^3$  の高磁気異方性を得ることに成功している。これらの結果は、Mn 合金のポテンシャルを明らかにした成果として評価される。

第一原理計算では、D0<sub>22</sub>-Mn<sub>3</sub>Ga 合金の磁気モーメントおよび磁気異方性などの格子定数依存性を計算し、体積を異方的に 5%縮めるか、50%膨張させることによりフェリ磁性から強磁性への相変態が生じることなどを明らかにしている。この結果は、今後の実験計画のガイドラインとして注目される。産学共創の場およびプログラムオフィサー (PO) の指摘に基づき、第一原理計算グループを研究組織に加えて研究の効率化を達成した点は、産学共創の場が有効に機能したと評価できる。

バルク合金においては、Mn<sub>x</sub>Ga ( $x = 1.3 \sim 2.7$ ) において L1<sub>0</sub>~D0<sub>22</sub> 型単相合金の合成に成功し、最大で  $J_s \sim 0.7 \text{ T}$  を得ている。D0<sub>22</sub> 型 Mn<sub>3</sub>(Ga, Ge) 合金に対する、第 3 元素置換、静水圧印加による格子定数の制御では、フェリ磁性からフェロ磁性への相変態は実現されていない。

#### 4-2. 今後の研究に向けて

本研究課題では、高い目標を掲げて研究が遂行されてきた。ハードルは高いが、実現でき

れば新しい永久磁石材料となる可能性があり、産業競争力の強化にも寄与できると期待される。第一原理計算グループの加入により、格子定数や置換元素が磁気特性に及ぼす影響を予測できるようになったので、その結果をガイドラインとして、効率的に研究が進められることを期待する。

#### 4-3. 総合評価

##### 総合評価 A

本研究課題は、MnGa 系及び MnGe 系合金における磁性原子間距離を調整して、その交換相互を制御することで従来の Fe 系強磁性材料を置き換える Mn 系高飽和磁化および高磁気異方性磁性材料を開発することを目標としている。フェリ磁性からフェロ磁性への相変態は実現されていないものの、薄膜プロセスでは  $J_s \sim 0.9\text{T}$  の高飽和磁気分極と  $K_u=1.66\text{ MJ/m}^3$  の高磁気異方性が達成されると共に、バルク合金においても  $K_u > 1\text{ MJ/m}^3$  の高磁気異方性を得ることに成功している。これらの成果は、Mn 合金のポテンシャルを示す結果として注目される。また、第一原理計算では、 $\text{D0}_{22}\text{-Mn}_3\text{Ga}$  合金の体積を異方的に 5%縮めるか、50%膨張させることによりフェリ磁性から強磁性への相変態が生じることなどが明らかにされており、今後の研究の方向性を示す結果が得られている。

以上