

学位論文の要旨

氏名

小林 領太

学位論文題目

3d遷移金属を含む合成困難な強磁性相の磁場による合成

本論文は、非平衡相である強磁性Mn-Al、規則化に長時間を有するL2₁型Ni₂MnAlの合成過程における磁場効果についてまとめたものである。

第1章は、これまでの化学反応に対する磁場効果の研究、強磁性Mn-Al、L2₁型Ni₂MnAlのそれぞれの課題についてまとめた。これまで化学反応に対する磁場効果の研究は固相-固相反応、気相-固相反応で行われてきた。これらにおいてゼーマンエネルギーの利得により強磁性相は安定化することが明らかになった。一方、これらの反応過程で、全ての相が平衡相である。相転移に対しての磁場効果の研究は平衡相への磁場効果、非平衡相への磁場効果について行われているが相転移温度の変化や配向についての研究が主であり、非平衡相で強磁性である合金合成への磁場効果は報告されていない。

強磁性Mn-Alは非平衡相である。永久磁石として応用が期待されているが、非平衡相であり単相合成が困難であった。本論文においてこの問題を解決するためにゼーマンエネルギーによる強磁性相の安定化を提案した。これまでの強磁性Mn-Alに対する先行研究や磁場による合成促進効果の研究を示した。

L2₁型Ni₂MnAlの規則化には長時間の熱処理が必要で、高い規則度の試料を合成することは困難である。Ni₂MnAlの母相B2構造は非平衡相で、規則化したL2₁構造は平衡相である。

本研究では、強磁性Mn-AlおよびL2₁型Ni₂MnAlの合成を目指し、磁場中合成を行い最適な熱処理条件を考察した。

第2章は、実験方法について説明する。状態図の計算のモデル、これを利用した磁場中状態図の計算方法、試料作成条件、使用した装置、評価方法について示している。

第3章は、Mn-Al磁場効果について報告している。これまでの研究では15 Tの磁場であっても、強磁性相が非平衡相のままであることが明らかになっていた。熱力学的に磁場効果を検討するため、磁場中状態図の計算を行った。この結果から、磁場の相安定への寄与は小さいが駆動力として寄与していることを示した。また元素置換による強磁性相の安定化に注目して、元素置換した試料に磁場中熱処理を行った。この結果Zn置換した試料で元素置換と磁場による複合的な合成反応における加速効果が得られることが見出された。一方、炭素C添加した試料で元素添加と磁場による複合的な合成反応の加速効果は得られなかった。この原因について、熱分析からC置換による母相の安定化によるものと考察した。従来の母相を経由しないMn-Alの合成は困難であることを示した。これらの結果から磁場を用いたMn-Al開発について検討を行なった。

第4章は、Ni₂MnAlの規則化に対する磁場効果について示している。母相B2構造の試料について磁場中熱処理を行いX線回折測定と磁化測定結果を示している。具体的に磁場中熱処理により磁化の増加が確認された。またX線回折測定から結晶子サイズの減少が確認された。これを磁場による臨界角半径の現象と結びつけて考察を行なった。磁化の増加はMn-Mnの強磁性カップリングが増加したことを示唆している。これは磁場により臨界角半径が減少することで、L2₁構造のドメインの個数が増えるために起こったと考察した。結晶子サイズの減少は、ドメインの一つ一つは小さいことを示唆しており、磁化測定の結果と矛盾しない。また、磁場印加試料のキュリー温度が、ゼロ磁場と比較してキュリー温度は高い値を示した。これは規則度が向上したことでキュリー温度が増加したと考察した。

第5章は、本研究で得られた研究成果及び磁場効果について総括を行なった。

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

In-magnetic-field synthesis of ferromagnetic 3d-transition-metal alloys

Name: Kobayashi Ryota

This thesis mainly comprises chapters 1-5

Chapter 1 gives the research on the magnetic field effect on the phase transition and the problems of ferromagnetic Mn-Al and L2₁ type Ni₂MnAl. It is difficult to synthesize high-purity ferromagnetic Mn-Al and L2₁ type Ni₂MnAl. On the other hand, it has been found that magnetic field stabilizes the ferromagnetic phase because the gain of large Zeeman energy. The purpose of this study is to clarify the magnetic field effect on ferromagnetic Mn-Al and L2₁ type Ni₂MnAl.

Chapter 2 describes the experimental method. The model for calculating the phase diagram, the conditions of sample preparation and the evaluation method are described.

Chapter 3 also discusses magnetic field effect of Mn-Al. At 670 T, the non-equilibrium phase became the equilibrium phase. Therefore contribution of magnetic field to the phase stability is small, but it contributes as a driving force. The element-substituted sample was annealed in a magnetic field. Dual acceleration effects on Mn-Al by Zn-substitution and in-magnetic-field annealing were observed. In addition, we succeeded in synthesizing a ferromagnetic Mn-Al-C at a lower temperature and with a single heat treatment. From these results, we will examine the development of Mn-Al using a magnetic field.

Chapter 4 discusses the magnetic field effect on the degree of order on Ni₂MnAl. The mother phase B2 structure was annealed in magnetic field. The results of X-ray diffraction measurements and magnetization measurements for those samples are reported. The increase of magnetization was confirmed by annealing in a magnetic field. An increase in magnetization was confirmed by heat treatment in a magnetic field. The increase in magnetization suggests an increase in the ferromagnetic coupling of Mn-Mn. It is considered that this was caused by the decrease in the critical angle radius due to the magnetic field and the increase in the number of domains in the L2₁ structure.

Finally, the summary of this study was described in Chapter 5.