OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Ni-Mn-Ga強磁性形状記憶合金のマルテンサイト変態に及ぼす磁場、静水圧ならびに一軸応力の影響
Author(s)	金, 載勲
Citation	大阪大学, 2006, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/46810
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

氏名	金 載勲（キム ゼフン）
博士の専攻分野の名称	博士（工学）
学位記番号	第 20321 号
学位授与年月日	平成18年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科マテリアル科学専攻
学位論文名	Ni-Mn-Ga強磁性形状記憶合金のマルテンサイト変態に及ぼす磁場、静水圧ならびに一軸応力の影響
論文審査委員	（主査） 教授 掛下 知行 （副査） 教授 山本 雅彦　教授 中谷 亮一

論文内容の要旨

本研究は、Ni-Mn-Ga 強磁性形状記憶合金のマルテンサイト（10M、14M、2M）変態ならびに中間相(I)変態に及ぼす磁場、静水圧ならびに一軸応力の影響について系統的に調査し、得られた結果を熱力学的に解析した。

第1章では、本研究の目的と意義を述べた。

第2章では、外場の効果を調べるのに最適な合金を選択するために、10M、14M ならびに 2M マルテンサイト相がどの組成範囲で存在するのかを磁気的性質等により調べた。その結果、10M マルテンサイト変態を示す Ni_2MnGa、14M マルテンサイト変態を示す $Ni_{2.14}Mn_{0.84}Ga_{1.02}$ ならびに 2M マルテンサイト変態を示す $Ni_{2.14}Mn_{0.92}Ga_{0.94}$ を選択した。

第3章では、マルテンサイト変態に及ぼす磁場効果について調べた。その結果、強磁性の母相から強磁性のマルテンサイト相への変態する I-10M ならびに P-14M の場合には、それぞれ 0.8 MA/m ならびに 0.4 MA/m 以下の磁場下では、マルテンサイト相の大きな結晶磁気異方性のため、磁場の増加とともに変態温度は低下し、それ以上の磁場下では、マルテンサイト相の飽和磁化が母相のそれよりも大きいため、磁場の増加とともに変態温度は上昇することが分かった。また、常磁性の母相から強磁性の 2M マルテンサイト相への変態の場合、マルテンサイト相の磁化が常に母相のそれより大きいため、変態温度は磁場強度に対してほぼ直線的に上昇することが分かった。以上に述べた変態温度の磁場依存性を、クラウジウス－クラペイロンの式を用いて評価し、マルテンサイト相の大きな結晶磁気異方性が変態温度の磁場依存性に重要な役割を果たしていることを明確にした。

第4章では、マルテンサイト変態温度に及ぼす静水圧効果について調べた。その結果、本研究で調べたすべてのマルテンサイト変態温度は静水圧の増加とともに上昇することが分かった。P-14M、14M-2M ならびに P-2M 変態温度の応力依存性はそれぞれ 3 K/GPa、13 K/GPa、7 K/GPa であった。これら変態温度の静水圧依存性を用いて求めた変態に伴う体積変化は、−0.04%（P→14M）、−0.04%（14M→2M）、−0.15%（P→2M）であることが分かった（なお、マイナスの意味は変態に伴い体積が収縮することである）。

第5章では、マルテンサイト変態に及ぼす一軸圧縮応力の効果を調べた。その結果、Ni_2MnGa 合金単結晶では、一軸圧縮応力下において新たな相（X 相）が存在することを見出した。その応力誘起 I→X 変態応力は温度上昇に伴い低下（−0.25 MPa/K）した。また、応力誘起 X→10M 変態応力は温度上昇に伴い増加（2.0 MPa/K）した。一方、

応力誘起P→14MならびにP→2M変態応力は温度の増加に伴いほぼ直線的に上昇し、それら温度勾配は約2.5 MPa/K（P→14M）と4.5 MPa/K（P→2M）である。以上に述べた応力誘起X→10M、P→14MならびにP→2M変態応力の温度勾配を用いてクラウジウスークラペイロンの式より評価した変態潜熱は実験値と良い一致を示した。

第6章では、本研究で得られた成果を総括した。

論文審査の結果の要旨

本論文は、Ni-Mn-Ga強磁性形状記憶合金の磁気弾性（磁場印加によりマルテンサイト変態し、磁場除去により母相に戻る現象）ならびに擬弾性（応力負荷によりマルテンサイト変態し、応力除荷により母相に戻る現象）を明確にするために、この合金系に生成する3種類のマルテンサイト（10M、14M、2M）変態ならびに中間相(I)変態に及ぼす磁場、静水圧ならびに一軸応力の影響について系統的に調査し、得られた結果を熱力学的に解析したものであり、以下の知見を得ている。

(1) マルテンサイト変態に及ぼす磁場効果を調査し、変態温度の磁場依存性は、母相（P）ならびにマルテンサイト相の磁性、特にマルテンサイト相の大きな結晶磁気異方性に強く影響を受けることを明らかにしている。すなわち、強磁性の母相から強磁性のマルテンサイト相へ変態するI-10MならびにP-14Mの場合には、それぞれ0.8 MA/mならびに0.4 MA/m以下の磁場下では、マルテンサイト相の大きな結晶磁気異方性のため、磁場の増加とともに変態温度は低下し、それ以上の磁場下ではマルテンサイト相の飽和磁化が母相のそれよりも高いため、磁場の増加とともに変態温度は上昇することを明らかにしている。また、常磁性の母相から強磁性の2Mマルテンサイト相への変態の場合、マルテンサイト相の磁化が常に母相のそれより大きいため、変態温度は磁場強度に対してほぼ直線的に上昇することを明らかにしている。以上に述べた変態温度の磁場依存性を、クラウジウスークラペイロンの式を用いて定量評価している。

(2) マルテンサイト変態に及ぼす静水圧効果を調査し、本研究で用いたすべてのマルテンサイト変態温度は、静水圧の増加とともに上昇することを明らかにしている。それらの変態温度の応力依存性は、P-14M、14M-2MならびにP-2Mでそれぞれ3 K/GPa、13 K/GPa、7 K/GPaであり、これらの値を用いて変態に伴う体積変化を評価している（−0.04%（P→14M）、−0.04%（14M→2M）、−0.15%（P→2M））。

(3) マルテンサイト変態に及ぼす一軸圧縮応力効果を調査し、いずれのマルテンサイトも応力により変態擬弾性を示すことを明らかにしている。特に、10M変態するNi_2MnGa合金単結晶では、従来知られていた母相、中間相、10Mマルテンサイト相に加え、一軸圧縮応力下において新たな相が存在することを見出している。また、変態温度の応力依存性と変態歪を用いて各変態に伴うエントロピー変化を求め、この値が熱測定における結果と一致することを示している。

以上のように、本論文はNi-Mn-Ga強磁性形状記憶合金の磁気弾性ならびに擬弾性を明確にしたものであり、学術的にも、また、強磁性形状記憶材料を工業的に利用する上でも極めて重要な知見を多数含んでおり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。