



Title	Anomalous elastic behavior in Fe-Pd alloys exhibiting a second-order-like FCC-FCT martensitic transformation
Author(s)	Xiao, Fei
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/27562">https://hdl.handle.net/11094/27562</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏 名	肖 飛 (Fei Xiao)
博士の専攻分野の名称	博 士 (工学)
学 位 記 番 号	第 2 6 2 0 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 25 年 3 月 25 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生産科学専攻
学 位 論 文 名	Anomalous elastic behavior in Fe-Pd alloys exhibiting a second-order-like FCC-FCT martensitic transformation (2 次に近い FCC-FCT 変態を示す Fe-Pd 合金における特異な弾性挙動)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 掛 下 知行  (副査) 教 授 保 田 英洋 准教授 安 田 弘行 准教授 福 田 隆 講 師 寺 井 智之

## 論 文 内 容 の 要 旨

In the present study, anomalous elastic behavior and related phenomena in Fe-Pd alloys exhibiting a second-order-like FCC-FCT martensitic transformation (MT) have been investigated. Because the elastic constant  $C'$  significantly decreases with decreasing temperature in this alloy, three characteristics are obtained: a large elastic-like deformation, a critical point in the stress-temperature phase diagram and a large elastocaloric effect. This thesis consists of eight chapters.

In chapter 1, the background and the purpose of the study are described.

In chapter 2, the Pd content dependence on the FCC-FCT MT temperature in Fe-Pd alloys has been studied. The transformation temperature decrease with increasing Pd content up to 33.0 at.% and the transformation is suppressed in alloys including 33.1 at.% and more.

In chapter 3, a large elastic-like strain of about 7.3 % is obtained in an Fe-31.2Pd (at.%) single crystal by compressing in the [001] direction near the transformation temperature (240 K). This large elastic-like strain is essentially attributed to continuous change of structure in a single martensite variant under stress. A yield point appears at strain of 7.3 % and stress of 285 MPa; the residual strain does not recover by heating to 300 K. The main reason of the residual strain is due to the introduction of {111} mechanical twinning. The critical resolved shear stress of an Fe-31.2Pd (at.%) single crystal is found to be close to the ideal value.

In chapter 4, it is found that the limit of the elastic strain in Fe-Pd alloys is significantly influenced by temperature, compressive direction and grain boundary.

In chapter 5, the existence of a critical point in the stress-temperature phase diagram of the

Fe-30.8 and 31.2Pd (at.%) single crystals is confirmed by the compressive tests in the [001] direction. Also the related behavior has been analyzed by the Landau model. This critical point appears because the elastically deformed parent phase has the same symmetry as the martensite phase.

In chapter 6, a large elastocaloric effect in a wide temperature range between 240 K and 290 K is obtained in an Fe-31.2Pd (at.%) single crystal due to the significant temperature dependence of the Young's modulus in the [001] direction.

In chapter 7, a high stable damping behavior is observed in martensite phase of Fe-31.2Pd (at.%) alloy, which probably originates from the high density of twinned structure.

In chapter 8, the results obtained in this study are summarized.

## 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

Fe-Pd 系の強磁性形状記憶合金は、2 次に近いマルテンサイト変態を示し、そのマルテンサイト相において磁場により巨大歪を制御できるため、近年アクチュエータ用材料として注目されている。本論文は、Fe-Pd 系合金がマルテンサイト変態に先立ち、著しい格子軟化を示すことに注目し、その単結晶を用いて、弾性変形挙動ならびに、応力下でのマルテンサイト変態と弾性熱量効果について系統的に調査したものであり、以下の知見を得ている。

- マルテンサイト変態開始温度が 230K である Fe-31.2 at.%Pd 合金単結晶を [001]方向から圧縮変形すると、240K では最大約 7.3%、300K では最大約 4.6%もの弾性的変形が実現可能であることを見出すとともに、その弾性的変形は主に応力下における連続的な格子定数の変化、すなわち連続的な構造変化に起因することを明らかにしている。また、塑性変形領域まで変形した際に導入される欠陥は主に{111}タイプの双晶であり、それ以外にも $\langle 110 \rangle / 2$ をバースベクトルとする完全転位が導入されることを明確にしている。さらに、上記の条件下においては、塑性変形が開始する臨界分解剪断応力は、理想値に極めて近いことを明確にしている。
- Fe-Pd 系合金単結晶における[011]方向の弾性限界は[001]方向の単結晶の約 1/4 程度であり、また Fe-Pd 系合金多結晶試料における弾性限界は[001]方向の約 1/10 程度であることを見出し、その理由を弾性異方性により解釈している。すなわち、(110)面上の $[1\bar{1}0]$ 方向への変形に関する弾性定数  $C'$ の値が(100)面上の[010]方向への変形に関する弾性定数  $C_{44}$ に比べて極めて小さいことにより上記の挙動を説明している。
- Fe-Pd 系合金における[001]方向からの圧縮応力下でのマルテンサイト変態には、臨界点が存在することを明確にしている。すなわち、[001]方向の圧縮応力下におけるマルテンサイト変態に伴う変態歪の大きさは、付加応力の上昇に伴い直線的に低下し、ある臨界応力以上では、変態歪が消失し母相とマルテンサイト相との区別がつかなくなることを示している。また、この挙動を結晶の対称性を考慮して解釈している。
- Fe-Pd 系合金における[001]方向の弾性的な変形挙動の温度依存性を考慮すると、同合金において巨大な弾性熱量効果が現れることを熱力学的解析により予想するとともに、実際に Fe-31.2 at.%Pd 合金において、[001]方向に 100MPa の応力を断熱的に付加・除去することで、約 2K の温度変化が現れることを実証している。

以上のように、本論文は 2 次に近いマルテンサイト変態を利用することで、巨大な弾性変形ならびに巨大な弾性熱量効果が現れることを Fe-Pd 系形状記憶合金を用いて実証したものであり、学術的にも、また形状記憶合金を工業的に利用する上でも有用な知見を多く含んでおり、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。