

Fe₃Pt のマルテンサイト変態と磁場誘起歪に及ぼす規則度の影響

Effect of degree of order on martensitic transformation and magnetic field-induced strain in Fe₃Pt

阪大・工
東北大・金研

福田 隆, 山本 将貴, 掛下 知行
高橋 弘紀

T. Fukuda¹, M. Yamamoto¹, T. Kakeshita¹ and K. Takahashi²

¹ Graduate School of Engineering, Osaka University

² Institute for Materials Research, Tohoku University

1. はじめに

Fe₃Pt はインバー合金としてよく知られているが、近年は磁場により巨大歪が誘起できる材料としても注目されている。この磁場誘起歪は、この合金のマルテンサイトバリエントが磁場により再配列するために現れる。Fe₃Pt のマルテンサイト変態は母相の規則度に強く依存し、規則度の上昇にともない、BCC→BCT→FCT のように変換することが従来知られていた。巨大磁場誘起歪が現れるのはこのうち、規則度が約 0.8 の合金に現れる FCT マルテンサイトであり、この FCT マルテンサイトに磁場を印加すると、試料は磁場方向に大きく収縮する[1]。ところが近年申請者らは、さらに規則度の高い規則度約 0.9 の合金において、磁場方向に試料が伸びる現象を見出した。平成 21 度の強磁場センターの課題申請において、そのマルテンサイトの構造を調べたところ、従来知られていた 3 種のマルテンサイトのいずれとも異なる構造を有することが明らかとなった。興味深いことに、従来知られていた FCT マルテンサイトの構造が $c/a < 1$ の正方晶であるのに対して、規則度約 0.9 の Fe₃Pt のマルテンサイトの構造は $c/a > 1$ の正方晶となっていた。 $c/a < 1$ の構造から $c/a > 1$ の構造へとどのように遷移するかは非常に興味深い問題である。そこで本研究では、規則度が従来の中間となる試料を作成し、そのマルテンサイト変態挙動ならびに磁場によるバリエント再配列挙動を磁場中 X 線回折装置を用いて調査することを目的とする。

2. 方法

Fe₃Pt 合金は、電解鉄(99.9999 wt.%)および Pt 板(99.95 wt.%)をアーク溶解することにより得た。作製したインゴットを用いて Ar 雰囲気中で FZ 法により単結晶を育成した。得られた単結晶試料の方位を背面ラウエ法により決定し、すべての面が{100}_p面と平行になるよう、板状試料を切り出した。板状試料に 1373 K で 24 時間の均一化処理を施した後、規則化処理(923 K で 100 時間保持後、898 K で 30 時間保持、その後室温まで炉冷)を施した。母相の長範囲規則度 S は、室温における X 線回折により測定し、その結果、 $S = 0.85$ となった。

帯磁率測定は、超伝導量子干渉計(SQUID)を用いて、4.2 K から 300 K の温度範囲で行った。結晶構造は、金研 5T-CSSM を用いて板状試料の{100}_p面に X 線を照射し、50 K から 85 K の温度範囲で 400 反射の回折プロファイルを測定した。

3. 結果

3-1. 帯磁率の温度依存性

$S = 0.85$ の Fe₃Pt の変態挙動を調べるために冷却過程における帯磁率を測定した。その結果を Fig. 2 に示す。Fig. 2 からわかるように、温度低下にともない、帯磁率は $T_1 = 67$ K において小さく減少し、 $T_2 = 56$ K から急激に減少する。これらはマルテンサイト変態によるものであると考えられる。すなわち、 $S = 0.85$ の Fe₃Pt は $T_1 = 67$ K および $T_2 = 56$ K において 2 段階のマルテンサイト変態を示すと考えられる。

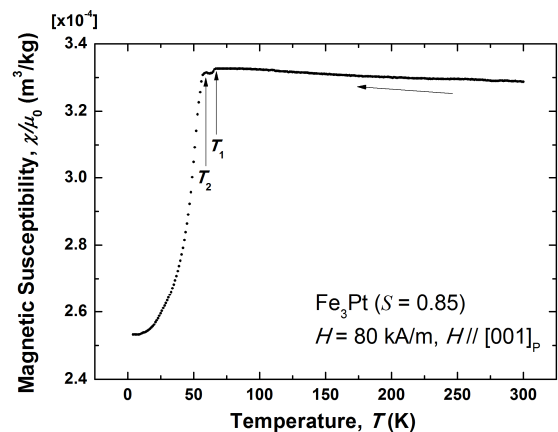


Fig. 1 Temperature dependence of magnetic susceptibility of Fe₃Pt with $S = 0.85$. The martensitic transformation temperatures T_1 and T_2 are indicated by arrows.

3-2. $S = 0.85$ の Fe₃Pt のマルテンサイト相の結晶構造

Fig. 2 に $S = 0.85$ の Fe₃Pt の各温度における 400 反射の回折プロファイルを示す。Fig. 2 からわかるように、80 K で 1 つであったピークが、60 K においては 2 つのピークに分離している。このピークは低角度側からそれぞれ、マルテンサイト相の 004 反射、マルテンサイト相の 400 および 040 反射であり、このピーク分離は FCT マルテンサイト相への変態を意味している。さらに、55 K においては、ピークは 3 つに分離している。このピーク分離は

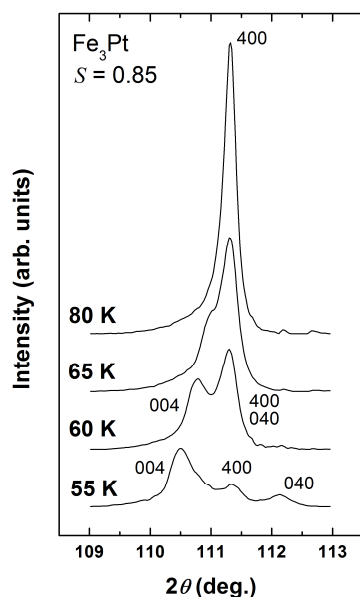


Fig. 2 X-ray diffraction pattern of Fe_3Pt with $S = 0.85$ taken in the cooling process.

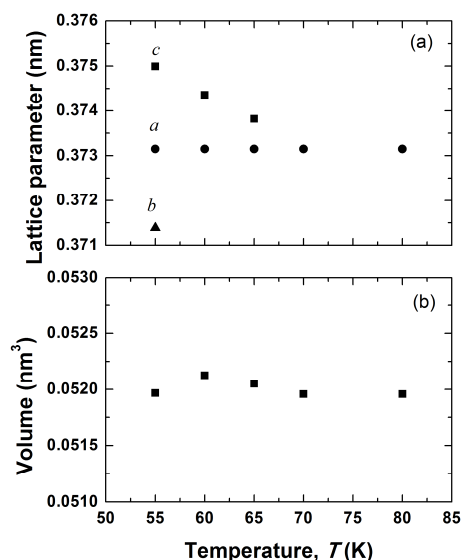


Fig. 3 Temperature dependence of lattice parameters (a) and unit cell volume (b) of Fe_3Pt with $S = 0.85$.

斜方晶への変態を意味している。

得られた回折プロファイルを用いて、 $S = 0.85$ の Fe_3Pt の各温度における格子定数を求めた。その結果を Fig. 3(a)に示す。格子定数は、65 Kにおいて $a = 0.3732$ nm, $c = 0.3738$ nm、60 Kにおいて $a = 0.3732$ nm, $c = 0.3744$ nm、55 Kにおいて $a = 0.3732$ nm, $b = 0.3714$ nm, $c = 0.3750$ nm となり、温度低下にともない a は変化せず、 c は増加していることがわかる。よって、 $T_2 < T <$

T_1 の温度範囲に現れるマルテンサイト相は、軸比 $c/a > 1$ の FCT である。軸比 c/a は 60 K において約 1.003 となる。次に、各温度における格子定数から単位胞の体積の温度依存性を求めた (Fig. 3(b))。Fig. 3(b)より、マルテンサイト相が FCT となる温度範囲では、単位胞の体積は温度低下にともない、わずかに増加していることがわかる。一方、マルテンサイト相が斜方晶になると、単位胞の体積は母相のそれとほぼ等しくなっている。ところで、本研究で用いられた Fe_3Pt よりわずかに規則度の高い $S = 0.88$ の Fe_3Pt においては、FCT へのマルテンサイト変態にともなう体積変化はほとんどない[2]。このことから、 $S = 0.85$ の Fe_3Pt における FCT へのマルテンサイト変態はこれまでのものと機構が異なっていると考えられる。

4. まとめ

本実験により、 Fe_3Pt のマルテンサイト相には結晶構造が斜方晶となるものが存在することが明らかとなった。すなわち、規則度の増加にともない、 Fe_3Pt のマルテンサイト相は、斜方晶を経由して $c/a < 1$ の FCT から $c/a > 1$ の FCT へと遷移することがわかった。一方で、目的の一つである磁場によるバリエーション再配列に関しては未だ確認がとれておらず、これは今後の課題である。

謝辞

磁場中低温 X 線回折装置を使用するにあたり、ご指導くださった東北大学金属材料研究所強磁場超伝導材料研究センター助教・高橋弘紀氏に深く感謝する。また本研究は、グローバル COE プログラム「構造・機能先進材料デザイン教育研究拠点」の支援のもと実施されたものである。

参考文献

- [1] T. Kakeshita, T. Takeuchi, T. Fukuda, M. Tsujiguchi, T. Saburi, R. Oshima and S. Muto: Appl. Phys. Lett., **77** (2000) 1502.
- [2] M. Yamamoto, T. Fukuda, T. Kakeshita, K. Koyama, H. Nojiri, Physics Procedia **10** (2010) 117.