

一軸応力下における Fe-33.2at.%Pd 単結晶の巨大弾性ひずみ

Giant strain of Fe-33.2at.%Pd single crystal under uniaxial stress

寺井 智之¹⁾ 長壁 豊隆²⁾ Xiao Fei³⁾ Zhou Ying³⁾

Tomoyuki TERAJ

Toyotaka Osakabe Fei XIAO Ying ZHOU

¹⁾ 大阪大学

²⁾ 原子力機構

³⁾ 上海交通大学

(概要) [001]方向に一軸応力を加えると巨大な弾性ひずみを示す Fe-31.2Pd (at.%) 単結晶に対して 10K および 150K において、非弾性散乱を $\zeta\zeta 0$ 方向 (Γ 点から K 点) に向かって $\theta=1.5, 1.6, 1.7, 1.8$ の 4 点を測定した。その結果、無応力下および応力下においてそれぞれ 3 つのピークが現れ、それぞれ TA1, TA2, LA フォノンに対応することがわかった。さらに TA1 フォノンについては応力化で軟化を示唆する結果が得られた。

キーワード：フォノン分散曲線，巨大弾性ひずみ，形状記憶合金

(1 行あける)

1. 目的

Fe-Pd2 元系状態図によると Pd の組成が 31at.% を超えると構造相変態（マルテンサイト変態）温度が急激に低下し 33at.% 付近で消失する[1-3]。典型的な 1 次相変態であるマルテンサイト変態を利用した超弾性合金とは異なり、Fe-31.2at.%Pd 合金はヒステリシスの極めて小さい弱い 1 次相変態を示し、変態温度直上でナノメーターサイズの tweed 構造が現れるといういわゆる相変態前駆現象が生じる。この tweed 構造は電子構造の不安定性（電子構造のフェルミ面のネスティングベクトルの存在）に起因すると考えられ、この不安定性が巨大弾性ひずみを発現させていると考えられる。このことを確かめるためには、この巨大弾性ひずみが発現する状態においてフォノン軟化の有無を調べる必要がある。この測定は不安定性が限られた温度範囲のみで存在する Fe-31.2Pd (at.%) 合金よりも、少し Pd 含有量を増やし相変態が消失する臨界点近傍（Pd 組成 33.2at.%）で中性子非弾性散乱を行う方が明確にフォノン軟化を検出することが期待できる。さらに一軸応力をかけて巨大弾性ひずみが発現した状態においてフォノン軟化がどのように変化するかについても合わせて調査することで電子構造の不安定性についてさらなる知見を得ることが期待できる。

2. 方法

相変態消失の臨界組成近傍の組成を持つ Fe-33.2Pd (at.%) 合金単結晶に対して、これまでに引っ張り試験機を用いた一軸圧縮試験により 10K から 300K の広い温度範囲で 2% 以上の巨大弾性ひずみが発現することを確認済みである。この巨大弾性ひずみが生じる温度においてフォノン軟化が生じているかを確かめるために、 $\zeta\zeta 0$ 方向の非弾性散乱測定を行った。そのために、5mm × 5mm × 10.5mm の Fe-33.2Pd (at.%) 合金単結晶（直方体かつその表面のうち 2 面が 001 面、残り 4 面が 110 面とかなる）を作製し、JRR-3 の TAS-1 において一軸応力下の中性子線非弾性散乱測定を行った。2023 年度に 150K および 10K において、それぞれ無応力および一定圧縮応力下 (200MPa, 400MPa) において $\zeta\zeta 0$ 方向 (Γ 点から K 点) に向かって $\theta=1.5, 1.6, 1.7, 1.8$ の 4 点を測定した。

3. 結果及び考察

$T=10K$ における非弾性散乱測定の結果を図 1 に示す。図からわかる様に無応力下および応力下においてそれぞれ 3 つのピークが現れ、それぞれ TA1, TA2, LA フォノンに対応することがわかった。図 1 (d) においては TA1 フォノンが不明瞭になっていることもわかった。これらのピークからフォノン分散曲線を求めると図 2 のようになった。図からわかる様に θ が 1.7 以下にてフォノンソフニングと思われるプラトーが現れていることがわかる。さらに、応力を加えると TA1 モードが軟化する、すなわち変形し易くなることが分かった。これは通常の金属の弾性挙動（弾性限までヤング率がほぼ一定）からは予想しえない現象である。この現象についてより詳細に調査するには追加の実験が必要である。さらに合わせて第一原理計算より電子構造に関する情報、さらに Γ 点近傍のフォノン分散曲線を超音波測定で測定し、この現象の起源を明らかに

する予定である。

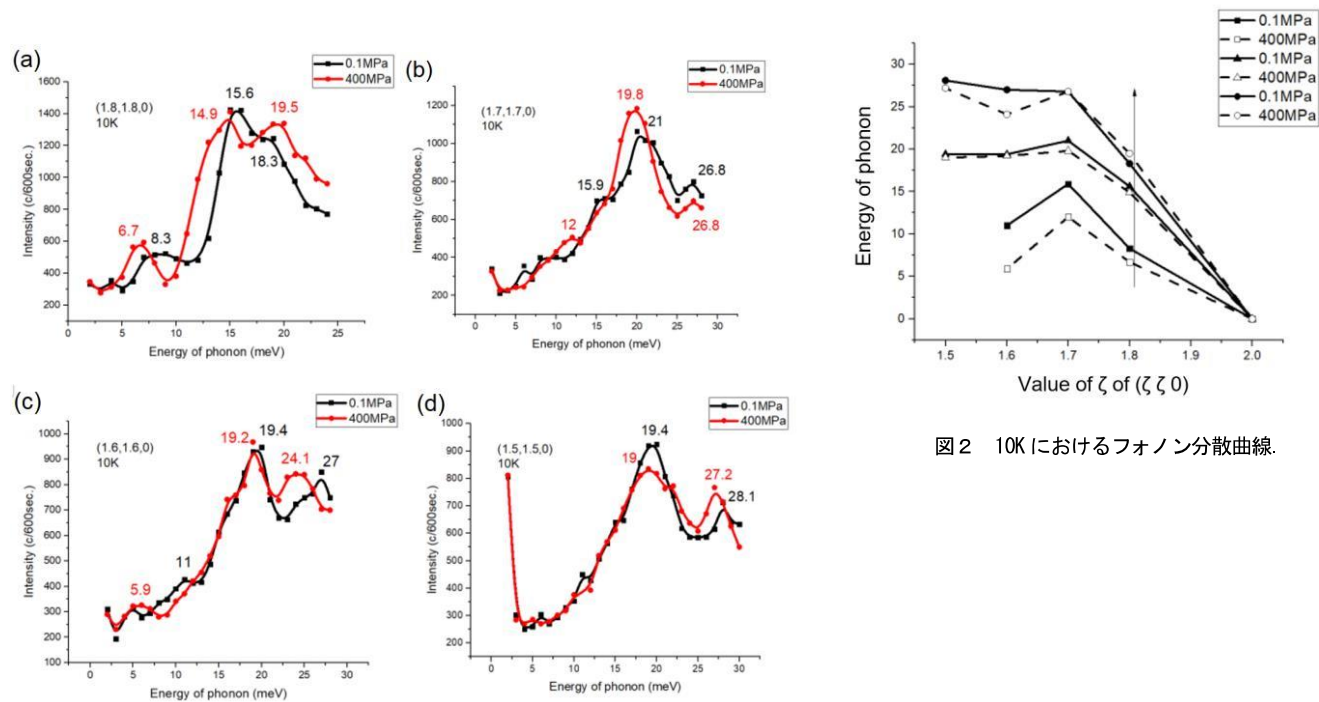


図1 10Kにおける非弾性散乱の ω スキャン. (a)-(d)はそれぞれ $\zeta=1.8, 1.7, 1.6, 1.5$.

4. 引用(参照)文献等

- [1] F. Xiao, T. Fukuda, T. Kakeshita: On the physical nature of high reversible strain in Fe-Pd single crystals exhibiting lattice softening, *Acta Mater.* 61 (2013) 4044-4052.
- [2] F. Xiao, T. Fukuda, T. Kakeshita: Significant elastocaloric effect in a Fe-31.2Pd (at%) single crystal, *Appl. Phys. Lett.* 102 (2013) 161914.
- [3] F. Xiao, T. Fukuda, T. Kakeshita, X. Jin, Elastocaloric effect by a weak first-order transformation associated with lattice softening in an Fe-31.2Pd (at.%) alloy, *Acta Materialia* 87 (2015) 8-14.