

強磁性鉄合金における格子ひずみの測定
東北大学 マイクロシステム融合研究開発センター 鈴木茂

1. Introduction

Fe-Ga 基合金等の磁歪合金は、アクチュエータ、センサー等への応用、さらに最近では振動発電への応用が期待されている。これまで、東北大学の当グループは福田結晶技術研究所とともに、それらの大型単結晶の育成に成功するとともに、その磁歪特性の発現機構についても明らかにしてきた[1]。これらの Fe-Ga 合金は体心立方構造をもつ強磁性体であり、大きな弾性異方性や特異な弾性変形を示すことが特徴である[2]。例えば、 $\langle 100 \rangle$ 方向の Young 率が小さく、 $\langle 111 \rangle$ 方向の Young 率が大きく、その比は 3 倍以上に達する。このような Fe-Ga 合金を用いた振動発電を IoT の無線用電源等に利用することを目指していくが、ここでは Fe-Ga 合金全体の弾性領域付近での格子ひずみを評価することとした。

2. Experiment

本研究では、福田結晶技術研究所で育成した大型の Fe-Ga 合金単結晶を出発素材として用いた。直径約 100mm のインゴットのウェハから、引張試験片の平行部の幅が 5mm、厚さが 1mm、長さが 26mm の板状試験片を切り出した。試験片の引張方向の結晶方位は、主に、[001]、[011]である。

それらの引張試験片を引張変形しながら、BL20/iMATERIA (TOF 型中性子回折装置) のビームラインにおいて中性子回折測定を行った。測定においては、引張変形に伴う変位、荷重等をモニターしながら、試料全体からの回折情報を得た。

3. Results

図 1 は、Fe-Ga 合金単結晶の荷重-変位曲線を示している。荷重を応力に換算すると、約 400MPa のところで降伏が起きており、純鉄の降伏点に比べてかなり大きい。これは、合金元素の Ga による固溶強化によるものである。変形による変位が 0.9mm 付近で応力が低下しているが、これは他の実験から双晶発生によるものであると考えられるが、転位による迂りもある程度寄与していると思われる。なお、純鉄でも低温で変形すると変形応力が数百 MPa に上昇し、双晶が発生しやすくなる。今回の実験では、双晶発生後に試験片が破断しており、これは結晶方位が[001]に近いと異なる種類の双晶が発生し、それらの交差による割れ（クラック）が進展して破断に至ったものと考えられる。

図 2 は、Fe-Ga 合金単結晶の変形前および変形中の試験片からの 002 回折ピークを示している。変形による格子の間隔から、0.35%程度の格子ひずみが生じている。そのときの荷重や試料の形状から、この方位の Young 率は約 60GPa と見積もられた。この値は共振法により求められる値と同程度であった。なお、今回の引張試験の変位からひずみを算出し見かけの Young 率が求められることもできるが、試験片のセットアップ等における様々な因子により見かけの Young 率には不確かさがあると思われる。

4. Conclusion

Fe-Ga 合金単結晶の引張試験片に用いて、引張変形中のその場中性子回折を実施した。引張変形に伴い、塑性変形として双晶変形が起こることを示した。これは、Ga 添加による固溶強化で、双晶が発生しやすくなっているためと考えられる。[001]方向の格子ひずみが大きくなることを示した。他の結晶方位の単結晶についても、詳細な結晶方位変化等の解析を進めている。

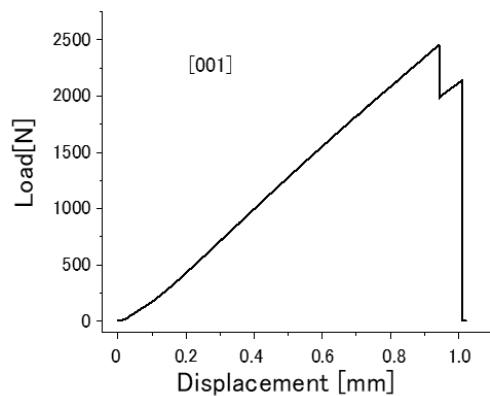


図 1. Fe-Ga 合金単結晶の引張変形に伴う変位-荷重曲線

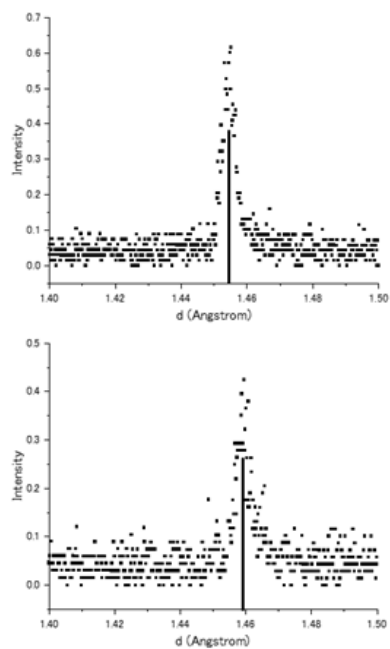


図 2. 変形前（上）と変形中（下）の Fe-Ga 合金単結晶からの 002 回折ピーク

参考文献

- [1] “チョクラルスキー法による Fe-Ga 基 磁歪合金の大型単結晶製造技術の開発”, 南都十輝, 安藤宏孝, 渡邊清和, 高橋和也, 福田承生, 上野敏幸, 川又透, 藤枝俊, 鈴木茂, まてりあ, 56(2017), 27-29.
- [2] “Anisotropy of Magnetostriction of Functional BCC Iron-based Alloys”, S. Suzuki, T. Kawamata, R. Simura, S. Asano, S. Fujieda, R. Y. Umetsu, M. Fujita, M. Imafuku, T. Fukuda, Mater. Trans., 60 (2019), 2235-2244.