

直径4インチのFe-Ga合金単結晶開発とFe-Ga磁歪発電の結晶方位依存性

Crystal growth of ϕ 4 inch single crystal ingot of Fe-Ga magnetostrictive alloy and the crystal orientation dependence for the magnetostrictive power generation

東北大多元研¹, (株) 福田結晶研², 東北大金研³, 阪大工⁴

○ 志村玲子¹, 高橋巧¹, 熊谷毅², 川又透³, 藤枝俊⁴, 鈴木茂¹, 福田承生²

IMRAM, Tohoku Univ.¹, Fukuda Crystal Laboratory², IMR, Tohoku Univ.³, Osaka Univ.⁴

○ R. Simura¹, T. Takahashi¹, T. Kumagai², T. Kawamata³, S. Fujieda⁴, S. Suzuki¹, T. Fukuda²

E-mail: ray@tohoku.ac.jp

【はじめに】 Fe-Ga 合金はアメリカ海軍が開発した磁歪材料であり、ブリッジマン法で「単結晶」(実際は粗粒多結晶)として作製後、磁場下で焼鈍してエトリーマ社が Galfenol という名前で販売していた。ここで、磁歪材料とは磁場を印加すると材料中の磁区構造が変化しマクロな歪み(伸び縮み)が生じる材料である。反対に、磁歪材料に外部から歪みを印加した場合も、材料内部に磁区構造変化が生じる。最近、この機構を利用して振動エネルギーを電力に変換する発電技術が注目されている^[1]。特に、モノのインターネット (IoT) の実用化に際しての課題の電力供給問題の解決には、環境中に存在する微小エネルギーの抽出が重要であり、振動発電は天候に左右されないエネルギー源として非常に期待されている技術である。特に磁歪材料を用いた磁歪式の振動発電は、変換効率が高く電力が大きいことが特徴であり、現在精力的に研究が進んでいる方式である^[2]。本研究では、磁歪発電実用化における Fe-Ga 単結晶作製の重要性について、単結晶作製技術と磁区構造の結晶方位依存性の2つの観点から検討した結果を発表予定である。

【実験方法】 Fe-Ga 合金バルク単結晶試料は、高周波誘導加熱型の炉を用い、自動直径制御機構 (ADC) を付属したチョコレート装置で作製した。原料は純度 4N の Fe と Ga を用い、種結晶には $\langle 100 \rangle$ 方向に切り出した Fe-Ga 合金単結晶を用いた。バルク結晶を評価用に結晶方位に注意して、4 mm $W \times 16$ mm $L \times 0.5$ mm T の板片に切り出し、特性評価に使用した。特性は、電子線プローブ分析 (EPMA) 装置を用いた化学組成分析、電子線後方散乱回折 (EBSD) 装置による結晶方位解析、歪みゲージと磁場印加コイルを用いた磁歪測定、フェラデー素子とミラーに CCD を組み合わせた磁区構造可視化装置を持ちいた磁区構造解析、また、U字型磁歪振動発電機構^[3]を用いた発電性能などで評価した。



Fig.1 Photograph of Fe-Ga alloy bulk single crystal ingot grown by CZ method, ϕ 4 inch $\times$ 150 mm L (top), ϕ 2 inch $\times$ 280 mm L (middle), and 300 mm scale (bottom)

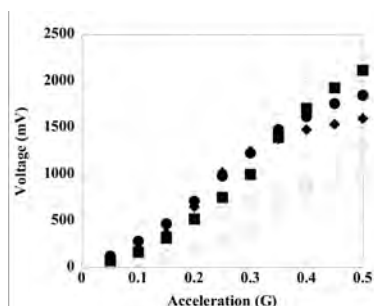


Fig.2 Observed voltages with the Fe-Ga plate of various crystal orientation; ●[010](001), □[110](001), ◆[001](110), ○[111](110), ■: [001](100)

【結果と考察】 直径4インチ長さ150 mm、直径2インチ長さ280 mmの結晶の写真を Fig.1 に示した。結晶育成方向に垂直に切断したウエハーの結晶方位は [001] 方向に垂直な面であることがEBSDにより確認された。(a) 板材の横方向が [010] に平行で、板面が [001] に垂直 (以後、省略のため面 (001) 等と表記) な試料、(b) 横 [001] 板 (100)、(c) 横 [110] 板 (001)、(d) 横 [001] 板 (110)、(e) 横 $\bar{1}\bar{1}1$ 板 ($\bar{1}10$) の試料の発電特性を評価した結果 (Fig.2)、切断面に依らず、長手方向を $\langle 100 \rangle$ 方向で歪ませることが重要であることが判明した。

References [1] 鈴木ら (2018) 金属 12 p.57; [2] Ueno et al., (2011) IEEE Trans.Magn. 47 p.2407; [3] Ueno et al., (2018) IOP Conf. Series: J. Phys. Conf. Ser. 1052 No.012075