

Fe-Ga 合金単結晶インゴットの開発と磁歪特性の評価

Crystal growth of Fe-Ga magnetostrictive single crystal alloy ingot and evaluation of the magnetostrictive properties

(株) 福田結晶研¹, 東北大多元研², 東北大金研³, 東北大 μ SIC⁴

○熊谷毅¹, 安藤宏孝¹, 南都十輝¹, 藤井高志¹, 志村玲子², 川又透³, 杉山和正³,
田口収⁴, 鈴木茂⁴, 福田承生¹

Fukuda Crystal Lab.¹, IMRAM, Tohoku Univ.² IMR, Tohoku Univ.³, μ SIC, Tohoku Univ.⁴

○T. Kumagai¹, H. Ando¹, T. Nanto¹, T. Fujii¹, R. Simura², T. Kawamata³, K. Sugiyama³,
O. Taguchi⁴, S. Suzuki⁴, T. Fukuda¹

E-mail: kumagaitsuyoshi00@gmail.com

【はじめに】Fe-Ga 合金は、振動エネルギーを磁歪材料により電気エネルギーへ変換する発電技術があり、その振動発電用に優れた磁歪特性を示す材料として注目されている。また最近では、東京大学や東北大学、金沢大学らの研究グループが D03 構造の Fe₃Ga で磁気熱電効果が得られることを発表ⁱⁱして Fe-Ga 合金はさらに注目されている。私たちのグループでは、CZ 法で 6 インチ ϕ の Fe-Ga 単結晶インゴットを作製ⁱⁱⁱしている。Ga 濃度は 16 at% 前後で A2 構造の Fe-Ga で磁歪定数 $3/2\lambda$ が 300ppm 以上出ることを発表している。また、住友金属鉱山のグループは垂直ブリッジマン法で Fe-Ga 単結晶インゴットを作製して Ga 濃度 17.6~18.3 at.% で磁歪定数 $3/2\lambda$ が 300ppm 以上でるとの発表^{iv}がある。これらは、振動発電用磁歪合金をターゲットにしており、磁気熱電効果が得られる Fe₃Ga にするには Ga 濃度が小さい。そこで、私たちのグループでは振動発電用、および磁気熱電用に対応できる Ga 濃度約 25 at% で結晶作製、磁歪特性の評価し報告を行う。

【実験方法】Fe-Ga 合金単結晶は、抵抗加熱型と高周波誘導加熱型 CZ 装置で育成した。アルミナ坩堝を使い、原料には純度 3N の Fe と 4N の Ga を用い、種結晶には $\langle 100 \rangle$ 方向に切出した Ga 濃度 16 at% Fe-Ga 合金単結晶を用いた。この材料は固相線と液相線にギャップがあるため、原料の比率は結晶のストイキオメトリーより Ga 濃度は高くした。Ga 濃度を変えた結晶を CZ 法で複数育成し、それぞれの Ga 濃度と磁歪特性の評価を行った。

【結果と考察】図 1 に過去に発表している実績のある Ga 濃度約 16 at% の Fe-Ga インゴットと、それと同じ高周波誘導加熱型 CZ 装置で同じ条件で育成した Ga 濃度約 25 at% の結晶を示す。Ga 濃度約 25 at% では表面が荒れている。相図上で Ga 濃度が多くなると固相線と液相線のギャップが大きくなるため、Ga 濃度 16 at% 作製時と同じ条件ではインゴットを作製することが難しいことが分かった。しかし、表面が荒れている Ga 濃度約 25 at% のアズグロンの表面のラウエをインゴットをスライドさせて数点とると同じスポットがみられて、方位ずれがないことが分かった。また、抵抗加熱型 CZ 装置で炉内の温度勾配を急にして、育成速度を遅くして Ga 濃度約 25 at% の Fe-Ga インゴットを作製した。図 2 に示す。表面が滑らかなインゴットが作製できた。表面のラウエは明瞭なスポットが観測された。約 25 at% の Fe-Ga インゴットの作製でき、Ga 25 at% の A2 構造をアニールすることで D03 構造の磁歪特性を評価ができる。磁気熱電用に有効な D03 構造の Fe-Ga の振動発電用としての評価などを発表する。



図 1 CZ 法で作製した 1 インチ ϕ Fe-Ga インゴット
左 Ga 濃度約 25 at% 右 Ga 濃度約 16 at%



図 2 抵抗加熱炉型 CZ 法で作製した最大径 1 インチ ϕ の Ga 濃度約 25 at% Fe-Ga インゴット

ⁱ T. Ueno, S. Yamada. IEEE transactions on magnetics 47.10 (2011): 2407-2409.

ⁱⁱ A. Sakai, et al. Nature 581.7806 (2020): 53-57.

ⁱⁱⁱ 熊谷ら、(2020) 第 67 回応用物理学会春季学術講演会、12a-A201-3

^{iv} 川村ら、(2019) 第 66 回応用物理学会春季学術講演会、9a-S422-10