

# Fe-Si-Al ナノ結晶軟磁性合金の磁気特性

神山 望、松岡 孝、尾藤 輝夫\*  
(日本ケミコン株式会社、\*秋田県立大学)

Soft Magnetic Properties of Fe-Si-Al Nano-crystalline Alloys  
Nozomu Kamiyama, Takashi Matsuoka, Teruo Bitoh\*  
(Nippon Chemi-Con Corp., \*Akita Prefect. Univ.)

## 緒言

Fe-Si-B-Nb-Cu 合金において、結晶粒径の微細化によって軟磁気特性が飛躍的に改善することが発見され既に実用化が広く進んでいる<sup>1)</sup>。結晶粒径が微細化すると各結晶粒の結晶磁気異方性が平均化され全体として低減することから軟磁気特性が改善する。微細結晶は Si が固溶した  $\alpha$ -Fe 相であり、その結晶磁気異方性はゼロではない<sup>2)</sup>。Fe-Si に Al を加えた合金は古くから研究され、組成と結晶磁気異方性定数  $K_1$  の関係が調べられており  $K_1=0$  の組成が報告されている<sup>3)</sup>。筆者らは結晶磁気異方性を低減する目的で、Fe-Si の一部を Al で置換した組成で、液体急冷法によるアモルファス箔体から微結晶軟磁性材を試作した。結果、 $\text{Fe}_{67.5}\text{Si}_{15.5}\text{Al}_6\text{Nb}_3\text{B}_7\text{Cu}_1$  の組成の時に高い透磁率を示し、その時の結晶磁気異方性定数  $K_1$  がゼロに近いと考えられることを報告した<sup>4)</sup>。その後、上記組成を基に Fe と Si の組成比を変えた Fe-Si-Al ナノ結晶軟磁性材を試作り、熱処理時の保持温度と磁気特性の関係を評価したので報告する。

## 実験方法

原料を  $\text{Fe}_{83-x}\text{Si}_x\text{Al}_6\text{Nb}_3\text{B}_7\text{Cu}_1$  ( $x=15.5\sim 18.5$ ) の組成で秤量し、Ar 雰囲気中で溶解し母合金を作製した。これを液体急冷法により板厚 7~10 $\mu\text{m}$  のアモルファス合金箔にし、巻回してトロイダル状の閉磁路コアに加工後、窒素雰囲気中で保持温度 520~590 $^{\circ}\text{C}$  の条件で熱処理して結晶化させた。磁気特性は、トロイダルコアを樹脂ケースに収納後、銅線を巻いて測定した。熱処理後の結晶相の構造は、XRD で確認した。磁歪は、トロイダルコアと同条件で熱処理した短冊状リボンを用いたひずみゲージ法で評価した。

## 結果

それぞれ  $x=15.5$  : 570 $^{\circ}\text{C}$ 、 $x=16.5$  : 560 $^{\circ}\text{C}$ 、 $x=17.5$  : 540 $^{\circ}\text{C}$ 、 $x=18.5$  : 530 $^{\circ}\text{C}$  で透磁率が最大となり、Si 濃度が高いと透磁率が最大となる保持温度は低くなった (Fig.1)。 $x=16.5$  の磁歪は、550 $^{\circ}\text{C}$ 、560 $^{\circ}\text{C}$  = +1ppm、570 $^{\circ}\text{C}$ 、580 $^{\circ}\text{C}$  = -1 ppm であり、560~570 $^{\circ}\text{C}$  の間で正負が反転した。結晶化度は、550 $^{\circ}\text{C}$  : 67.7%  $\rightarrow$  580 $^{\circ}\text{C}$  : 74.2% と保持温度が高いほど大きいことから、結晶相の体積変化が磁歪変化の原因と考えられる。 $x=16.5$  では、結晶相の格子定数は、550 $^{\circ}\text{C}$  : 0.2845nm  $\rightarrow$  580 $^{\circ}\text{C}$  : 0.2843nm と保持温度が高いほど小さいことから、結晶相の Fe:Si:Al の比は保持温度により異なると考えられる。周囲温度によるインダクタンスの変化も保持温度で異なっており、結晶相の結晶磁気異方性定数  $K_1$  が異なる、すなわち結晶相の組成が異なると考えられる。以上より、Fe-Si-Al ナノ結晶軟磁性合金の磁気特性は、その構造によって異なり、磁気特性が最大となった保持温度では結晶磁気異方性定数  $K_1$  および磁歪が共にゼロ近傍となる構造であると推測される。また、母合金の Si 濃度が異なると同保持温度でも構造が異なるために、透磁率が最大となる保持温度が Si 濃度で異なると考えられる。

## 参考文献

- 1) G. Herzer, IEEE Trans. Magn., 25, 3327-3329 (1989)
- 2) S. Arajs, H. Chessin, D. S. Miller, J. App. Phys. 32, 857-859 (1961)
- 3) Zaimovsky, A. S., Selissky, I. P. J. Phys. (USSR) 4, 563-565 (1941)
- 4) 日本金属学会 2020 年秋季 第 167 回講演大会

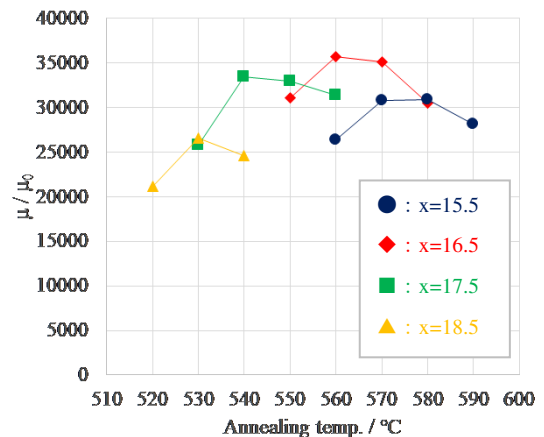


Fig.1 Annealing temperature dependence of permeability (100kHz) of  $\text{Fe}_{83-x}\text{Si}_x\text{Al}_6\text{Nb}_3\text{B}_7\text{Cu}_1$