

## ナノクリスタル磁性材料の高周波特性

日大生産工(院) ○佐久間 穂崇 日大生産工 矢澤 翔大 新妻 清純

### 1. まえがき

近年の次世代自動車では、電装化の進展やGPSの情報量増加、他車間での通信等といった技術が多く導入されている。そのため、搭載される電子部品の多くに小型化、高効率化、高信頼性が求められる。自動車に多く搭載される磁性部品のフェライトはキュリー温度が低いため、モーターなど高温環境で使用することが困難である。また、他車間やGPSなどデータの通信を行う際に大きなノイズが発生してしまうなど問題がある。

本研究では、フェライトに代わり、高温環境でも磁気特性の劣化が少ない、小型化が可能で磁気特性が良い、といった基準を満たせる材料と言われているナノクリスタル材料に着目した。ナノクリスタル材料は、優れた比透磁率とキュリー温度を保有しており、高温環境に対する磁気特性の劣化が小さく車載用のコアとして使用することが期待されている。ナノクリスタル材料を実用化するため、材料の熱処理を行い透磁率の変化から最適な熱処理条件を求めた。

### 2. 実験方法および測定方法

コア状に巻かれたナノクリスタル材料(東静工業株式会社製)に電気炉を用いて熱処理を行った。コア材はリボン状のナノクリスタルの薄帯を巻いて作製している。熱処理温度 $T_a$ を $500^{\circ}\text{C}$ から $580^{\circ}\text{C}$ 、熱処理時間を1分から180分の間で熱処理を行い、電気炉内の雰囲気は大気、冷却速度は自然冷却とした。処理したコアをインピーダンスアナライザ(HIOKI社製 型番IM3570)でインダクタンス $L$ を測定後、周波数特性図を作成し、最適な熱処理温度、熱処理時間を検討した。

熱処理は急激に温度を上昇させると目標とする熱処理温度を超える(オーバーシュートを起こす)可能性があるため、 $T_a - 100^{\circ}\text{C} = T_a'$ まで30分程度で上昇させた後、その温度を30分保持し、その後50分もしくは約1時間で $T_a^{\circ}\text{C}$ に温度を上昇させ熱処理温度 $T_a^{\circ}\text{C}$ を保持

し、二段階で熱処理を行った。温度上昇方法をFig.1に示す。

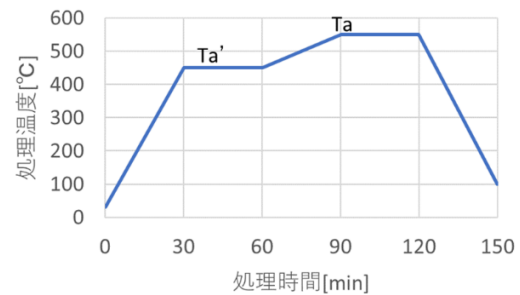


Fig.1 温度上昇方法

コアの寸法測定を行い、平均磁路長 $\ell$ と断面積 $S$ を求め、インダクタンス $L$ を測定することでコアの比透磁率を算出した。コアの寸法を測定することで、厚さ $t$ 、内径 $2a$ ：内半径 $a$ 、外径 $2b$ ：外半径 $b$ を求める。これらの要素より、平均磁路長 $\ell$ と断面積 $S$ を以下の式より求めた。

$$\begin{aligned} \text{平均磁路長 } \ell &= 2 \times \pi \times \frac{a+b}{2} \\ &= \pi \times (a+b) [\text{mm}] \end{aligned}$$

$$\text{断面積 } S = t \times (b-a) [\text{m}^2]$$

$a$ : 内半径  $b$ : 外半径  $t$ : 厚さ

このとき、コアはリボン状の薄帯を巻いて作製しているため、コア内部に隙間があり、計算から質量を求めると実際の質量とのズレが生じる懸念があるため、熱処理をした後のコアの質量を測定し、修正を加えた。計算式を以下に示す。

$$\text{見かけの質量 } M = S \times \ell \times \rho$$

$$\text{測定質量 } M' = S' \times \ell \times \rho$$

$$\rho : \text{密度} [\text{g}/\text{cm}^3]$$

$$\frac{M}{S} = \frac{M'}{S'}$$

$$S' = \frac{M' \times S}{M}$$

透磁率  $\mu$  を求めるために、インダクタンス  $L$  を求める式を解いた。それに質量の補正を組み込んだ。その式を以下に示す。

$$\text{インダクタンス } L = \frac{\mu S}{\ell} N^2$$

$$L = \mu \frac{N^2}{\ell} S'$$

$$\mu = L \frac{\ell}{N^2 \times S'}$$

$$= L \frac{\ell}{N^2} \times \frac{M}{M' \times S}$$

$$= \frac{L \times \ell^2 \times \rho}{N^2 \times M'}$$

N: 巻き数

この透磁率  $\mu$  を真空の透磁率  $\mu_0 [= 1.25 \times 10^{-6}]$  で割ることにより、比透磁率  $\mu_r$  を求めた。その式を以下に示す。

$$\mu = \mu_r \mu_0 \text{ より}$$

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$$

以上の式から比透磁率  $\mu_r$  を求めた。

### 3. 実験結果

温度変化による周波数特性の図を Fig.2.1 に、時間変化による周波数特性の図を Fig.2.2 に示す。本研究は、企業との共同研究であるため今回の報告では詳細な数値は記載しないものとする。ナノクリスタルのコア材を熱処理した際の 100[kHz] での熱処理温度と時間変化による比透磁率の周波数特性を図にした。縦軸が比透磁率、横軸がそれぞれ処理温度・処理時間である。Fig.2.1 より処理温度を変化させたところ 550°C で比透磁率が最大となった。Fig.2.2 では、処理時間を変化させたところ 45 分で比透磁率が最大になった。これらのことから最適な熱処理条件は処理温度 550°C、処理時間 45 分であることが分かった。

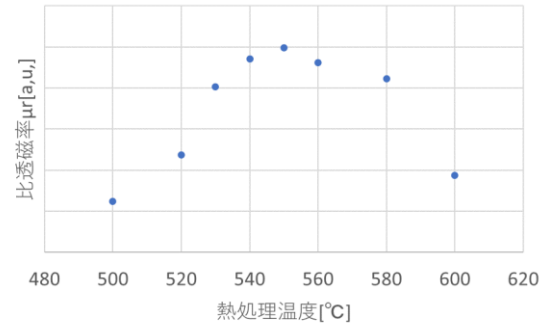


Fig.2.1 温度変化による周波数特性 (処理時間30分一定)

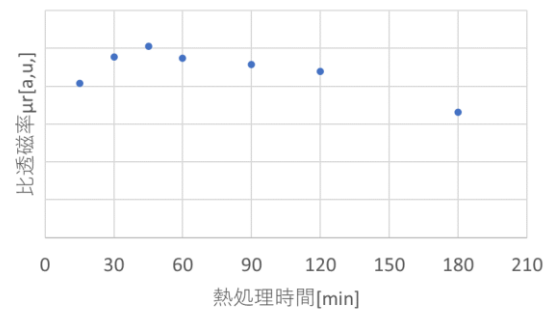


Fig.2.2 時間変化による周波数特性 (処理温度550°C一定)

### 4. まとめ

本研究では、ナノクリスタルのコア材を熱処理し、比透磁率から 100[kHz] での最適な熱処理条件を検討した。結果から最適な熱処理条件が処理温度 550°C、処理時間 45 分であることがわかった。

### 参考文献

- 1) 「微細結晶 Fe-Al-Si-M-B(M=V,Nb,Ta)合金薄膜の構造と軟磁気特性」 渡辺 洋、斎藤 準、高橋 研 日本応用電磁気学会誌 1965-1968
- 2) 吉沢 克仁・山内 清隆:「超微細結晶粒組織からなる Fe 基軟磁性」 日本金属学会誌 53-2 (1989) P.241-248
- 3) 井上 明久・牧野 彰宏:「アモルファス層からの超高強度および硬質磁性ナノ結晶粒子の析出」 あたりあ 37-5 (1998) P.371
- 4) 新宮 秀夫:「アモルファス金属の結晶化」 15-7 (1980) P.491-492