

熱処理プロセスにおける Fe 基アモルファス合金 →Fe 基 ナノ結晶合金のオペランド計測

¹日立金属(株)、²島根大学 次世代たたら協創センタ、³KEK
太田元基^{1,2}、幸田章宏³、大森千広³、荒河一渡²、平山尚美²、
三宅康博³、吉沢克仁³、小倉克廣¹

Fe-Cu-Nb-Si-B ナノ結晶合金リボンは加速器用の空洞に使われていた従来材料よりも高磁束密度、高い線形性、高い温度安定性を有し、ビーム制御を飛躍的に簡便にした¹⁾。この材料のナノ結晶構造は Fe 基アモルファス合金を熱処理することによって得られ、さらに熱処理時の磁場方向の制御により $B-H$ 曲線の形状を変化させられることが知られている。この材料は優れた軟磁気特性と $B-H$ 曲線の形状制御により、加速器だけでなく、多くのデバイスで磁心材料として用いられている。しかしながら、磁場中熱処理におけるナノ結晶化過程に関しては、実験結果を基にして経験的に磁場・温度設定がなされており、科学的解析は十分には行えていない。ナノ結晶化過程における核生成や結晶粒成長過程と磁場強度との関係を精査することにより、繊細な $B-H$ 特性のコントロールができる可能性がある。そこで、我々はナノ結晶化の素過程を調査するにあたり、ナノ結晶化熱処理過程で常磁性 Fe 基アモルファス相から、強磁性 Fe 基ナノ結晶相が析出する現象に着目した。磁性体の内部磁場を感受して、減衰率が変化するミュオンを用いることで、熱処理過程の進行状況をオペランド計測することを試みた。まず、結晶化の前駆現象として、750 K 近傍で起きていると予想される核生成と磁場強度の関係を捉えるために、一定温度に保持し、磁場強度を 2 mT、10 mT、30 mT と変化させた際の強磁性ナノ結晶相が析出するまでの時間をミュオンにより調査した。その結果、10 mT 下の場合だけ、他の 2 条件よりも強磁性相の析出が 1800 s 程度遅れることが確認された。さらに、それぞれ別のサンプルを用意して、上記と同じ磁場中で温度スウィープさせながらミュオンを測定したところ、2 mT、30 mT は およそ 760 K で、強磁性相の出現に伴うミュオンสปิน回転信号の減衰が観測され始めるのに対して、10 mT の場合では、およそ 775 K で同様の現象が見られ始めることが確認された。理論計算からは、このような弱磁場が結晶粒成長に与える影響は限りなく小さいことが予想されている。したがって、アモルファス相中からナノ結晶粒が核生成する段階で、このような弱磁場であっても、生成過程に大きく影響を与えられていることが示唆される。非常に些細な磁場の違いであり、工業的には見落とされていた現象だが、 $B-H$ 特性をコントロールできる幅が大きく変えられる可能性を持った発見であり、工業的・科学的に意義のある結果が得られた。

1) 大森 千広: 季刊誌 J-PARC No.10 2018 年 02 月発行