

비정질 $\text{Fe}_{87}\text{Zr}_7\text{B}_6$ 리본에서의 중성자 조사에 따른 복소 투자율 변화

충북대학교 물리학과 김효철*, 유성초
 선문대학교 물리학과 김철기
 한국원자력연구소 홍권표, 조운갑, 한현수

Neutron Irradiation Effect on Complex Permeability in Amorphous $\text{Fe}_{87}\text{Zr}_7\text{B}_6$ Ribbon

Chungbuk National University H.C. Kim*, S.C. Yu
 Sunmoon University C.G. Kim
 KAERI K.P. Hong, H.S. Han, W.K. Cho

1. 서론

중성자 조사에 따른 자기적 특성 변화는 이미 60년대 이전부터 연자성 물질을 주축으로 학문적인 관점에서 많이 진행되어졌으며 [1], 최근에는 비정질 및 초미세결정합금에 대한 중성자 조사 후 자기적 특성변화에 관한 연구가 계속 진행되고 있다[2]. 또한 실용적인 측면에서 가동중인 원자로를 구성하는 압력용기에 대한 고속 중성자의 지속적인 노출에 의해 발생하는 중성자 조사취하에 관련된 부분에서 원자로 압력용기의 건전성 평가를 위한 하나의 방법으로 연구되어 지고 있다[3].

중성자 조사 후의 자기적 특성변화는 자기이력곡선[2], Barkhausen noise[3] 등 다양하게 나타나며, 이러한 특성 변화는 중성자 조사에 의한 구조적인 변화 및 결합에 의하여 일어나게 된다.

본 실험에서는 비정질 $\text{Fe}_{87}\text{Zr}_7\text{B}_6$ 리본시료에 중성자를 조사시킨 후 복소 투자율을 측정하여 조사 전 후의 중성자 조사량에 따른 자벽운동과 자화회전에 대하여 분석하였다.

2. 실험방법

시료는 비정질 리본 합금 $\text{Fe}_{87}\text{Zr}_7\text{B}_6$ 을 사용하였으며, 두께는 $25 \mu\text{m}$ 이고 폭은 2mm 이다. 중성자는 한국원자력 연구소의 하나로에서 조사하였으며, 중성자 flux는 열중성자 (n_{th})와 고속 중성자 (n_f) 가 각각 $3.09 \times 10^{13} n_{th} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 과 $1.87 \times 10^{11} n_f \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ 이며, 이에 대응하는 고속 중성자의 fluence는 각각 $1.92 \times 10^{14} n_f \text{cm}^{-2}$, $2.63 \times 10^{15} n_f \text{cm}^{-2}$, $4.85 \times 10^{16} n_f \text{cm}^{-2}$ 이다. 복소투자율 $\mu^*(f) = \mu'(f) + j\mu''(f)$ 는 임피던스 분석기(HP4192A)를 이용하여 10 kHz ~ 10 MHz의 주파수 범위에서 슬레노이드코일을 이용하여 교류자장($h_0 \leq 210 \text{mOe}$)를 변화시키면서 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a)와 (b)은 비정질 시료에서 다양한 교류 자장 크기, h_0 에 따른 복소 투자율의 실수 부분 (μ')과 허수 (μ'') 부분을 나타낸다. 2.34mOe 이하의 교류자기장을 가해 주었을 때의 스펙트럼은 전형적인 Debye 형태의 주파수 특성을 보이고 있다. 5mOe 이상의 교류자장에서는 상대적으로 낮은 주파수 영역 ($\sim 30 \text{kHz}$)에서의 복소 투자율의 실수 부분과 허수 부분이 증가되는 것을 볼 수 있다. 이로부터 교류 자기장이 크기가 증가하면서 낮은 주파수 영역에서 또 다른 자기이완이 생긴다는 것으로 볼 수 있으며, 결과적으로 두 개의 자기이완이 겹쳐진 것이라 생각할 수 있다. 낮은 주파수와 높은 주파수 ($\sim 2 \text{MHz}$)의 자기이완은 각각 자벽운동과 자화회전에 의한 것이다. 자벽

운동은 역학적인 감쇠조화 진동계로 유추하여, 다음과 같은 식으로 쓰여진다[4].

$$\mu_{dw} \propto \frac{1}{\alpha} \quad f_{dw}^0 \propto \alpha \quad (1)$$

여기서 α 는 복원상수로 원자내의 결합에 의한 응력에 기인하며, μ_{dw} 는 자벽운동에 의한 투자율이며, f_{dw}^0 는 자벽운동의 이완주파수이다. 그림 2 (a)에서 보면 중성자 조사량에 따라 자벽운동, f_{dw}^0 의 주파수는 증가하였으며, 자화회전에 의한 주파수 f_m^0 는 $4.85 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2$ 일 때 이완주파수가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있었다. 그림 2(b)에서 보면 중성자 조사량에 따라 자벽운동의 투자율 μ_{dw} 은 감소하였으며, 자화회전에 의한 투자율, μ_m 은 증가하는 것을 볼 수 있었다.

4. 결론

비정질 $\text{Fe}_{87}\text{Zr}_{13}\text{B}_6$ 리본에서의 중성자 조사에 따른 투자율 특성에 대해서 연구하였다. 투자율 스펙트럼($h_0 \leq 5 \text{ mOe}$)은 전형적인 Debye 형태를 나타냈으며, 중성자 조사 후 자벽운동은 감소하였으며 자화회전은 증가하였다. 또한 자벽운동의 이완주파수는 높은 주파수 영역으로 이동하였으며, 자화회전에 의한 주파수는 중성자 조사량이 $4.85 \times 10^{16} \text{ n/cm}^2$ 일 때 급격히 감소하였다. 이러한 현상은 중성자 조사에 따른 물질 내에 생성된 결함에 의한 것이라 여겨진다.

5. 참고문헌

- [1] Lewis R. Aronin, J. Appl. Phys., 25(3), 344(1954).
- [2] Marcel Miglierini and Ivan Škorvánek, Mater. Sci. Eng. A, 147, 101(1991).
- [3] Duck-Gun Park, Jun-Hwa Hong, Chi-li Ok, Jang-Whan Kim and H.C. Kim, IEEE Trans. Magn., 34(4), 2036(1998).
- [4] S. Chikazumi, Physics of Ferromagnetism, Oxford University Press Inc., New York (1997).

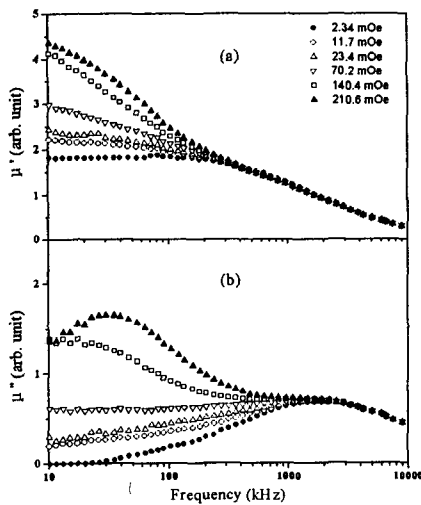


Fig.1. Real (a) and imaginary (b) parts of permeability spectra at various ac field in as-quenched sample.

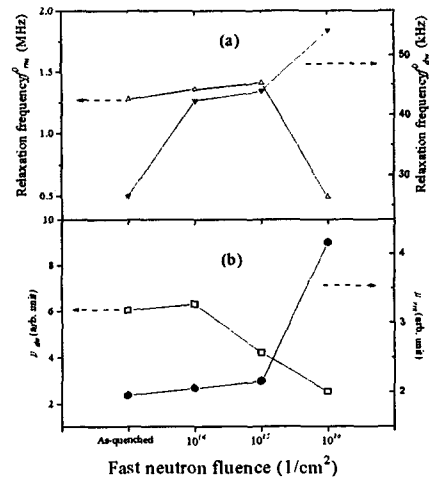


Fig. 2. (a): Relaxation frequency of permeability spectra and (b): initial permeability in domain wall motion and rotational magnetization.