

비정질 $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{3.5}B_9$ 합금에서의 열처리 및 중성자 조사에 따른 복소 투자율 변화

한국원자력연구소 김효철*, 주용선, 홍권표
충북대학교 물리학과 유성초
선문대학교 물리학과 김철기

Annealing and Neutron Irradiation Effect on the Complex Permeability of Amorphous $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{3.5}B_9$ Alloy

Korea Atomic Energy Research and Institute H. C. Kim*, K. P. Hong, Y. S. Choo
Chungbuk National University S. C. Yu
Sunmoon University C. G. Kim

1. 서론

자성물질에 대한 중성자 조사 효과는 높은 에너지의 중성자를 물질에 조사(irradiated) 시켰을 경우 중성 입자와 물질과의 상호작용에 의해 자기적 특성이 바뀌게 되는 것으로, 60년대 이전부터 학문적인 관점에서 많이 연구되어 왔으며[1], 실용적인 측면에서 원자로를 구성하는 압력용기에 대한 건전성 평가를 위한 비파괴적인 방법으로 이용되어 지고 있다[2]. 중성자 조사에 의한 자기적 특성 변화 중 복소 투자율 변화는 중성자 조사에 따른 구조적 변화 및 결합에 의한 자구운동의 변화에 의해 생기게 된다[3-4].

본 실험에서는 비정질 시료와 다양한 온도에서 열처리한 시료에 중성자 조사시킨 후 복소 투자율을 측정하여 조사 전 후의 중성자 조사 따른 자구벽 운동과 자화 회전에 대하여 분석하였다.

2. 실험방법

시료는 비정질 리본 합금 $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{3.5}B_9$ 을 사용하였으며, 두께는 약 $20 \mu m$ 이고 폭은 5 mm 이다. 시료의 열처리는 1시간 동안 진공 중에서 $150 \sim 550 \text{ }^\circ C$ 온도범위에서 수행하였다. 그리고 비정질 시료와 열처리된 시료의 중성자 조사는 한국원자력 연구소의 하나로에서 수행하였으며, 중성자 조사량은 열중성자(n_{th})와 고속 중성자(n_f) 가 각각 $6.70 \times 10^{18} n_{th}cm^{-2}$ 과 $4.76 \times 10^{16} n_fcm^{-2}$ 이었다. 복소투자율은 임피던스 분석기(HP4192A)를 이용하여 10 kHz ~ 10 MHz의 주파수 범위에서 솔레노이드 코일을 이용하여 교류자기장을 변화시키면서 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 외부 교류자기장을 210 mOe를 가해 주었을 때 비정질시료의 열처리에 온도에 따른 투자율과 이들 시료에 대한 중성자 조사 후의 투자율 값을 나타낸 것이다. 비정질 시료의 경우 열처리 온도가 증가 할 수록 투자율 값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 중성자 조사 후 비정질 및 $200 \text{ }^\circ C$ 까지 열처리한 시료에 대해서는 투자율 값이 중성자 조사 전 보다 높게 나타난 것을 볼 수 있으며, 반면에 $250 \text{ }^\circ C$ 이상

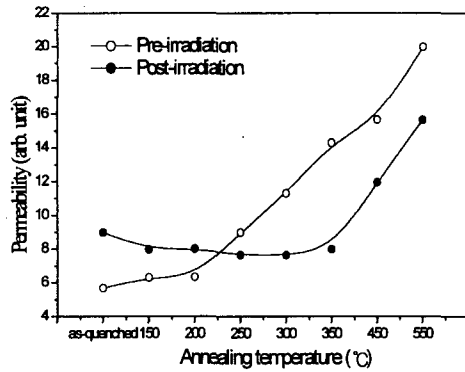


Fig. 1. Permeability from the pre-irradiated and post-irradiated samples.

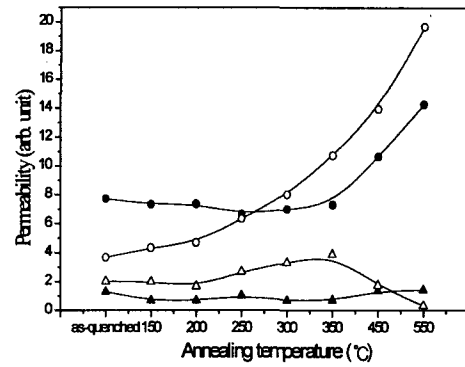


Fig. 2. Permeability from the irreversible domain wall motion (Δ : pre-irradiated, \blacktriangle : post-irradiated) and the reversible rotational magnetization (\circ : pre-irradiated, \bullet : post-irradiated).

에서 열처리한 시료에 대해서는 중성자 조사 후 투자율 값이 중성자 조사 전 보다 줄어든 것을 볼 수 있다. 그림 2는 외부 교류자기장을 210 mOe 가해주었을 때 나타나는 복소 투자율 스펙트럼으로부터 자구벽 운동과 자화 회전을 분리하여 나타낸 투자율 값이다. 그림 2에서 보면 비정질 시료의 경우 열처리 온도가 증가 할 수록 자화 회전에 의한 투자율이 증가하는 것을 볼 수 있으며, 자구벽 운동에 의한 투자율은 열처리 온도가 350 °C 까지는 증가했으나 450 °C 이상에서는 다시 감소한 것을 볼 수 있다. 중성자 조사 후 자화 회전과 투자율 값은 비정질 및 250 °C 까지 열처리한 시료에 대해서는 증가하였으나 300 °C 이상 열처리한 시료에 대해서는 자화 회전에 의한 투자율이 감소한 것을 볼 수 있다. 중성자 조사 후 자구벽 운동에 의한 투자율 값은 중성자 조사 전의 시료에 비하여 비정질 및 450 °C 까지 열처리한 시료에 대해서는 감소하였으나 550 °C에서 열처리한 시료는 증가 한 것을 볼 수 있다.

4. 결론

비정질 $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{3.5}B_9$ 리본에서의 비정질 및 열처리한 시료의 중성자 조사 후의 복소 투자율 변화에 대해서 연구하였다. 실험 결과에서 보면 비정질 및 상대적으로 낮은 온도에서 열처리한 시료는 중성자 조사 후 시료의 비정질 상태가 바뀜으로 인해 투자율이 중성자 조사 전에 비해 상승한 것으로 여겨지며, 반면에 열처리에 의해 결정화가 이루어진 상태인 시료에 대해서는 중성자 조사에 의해 시료의 결정상태를 비정질화 시킴으로서 복소 투자율이 감소된 것으로 여겨진다.

5. 참고문헌

- [1] Lewis R. Aronin, J. Appl. Phys., 25(3), 344(1954)
- [2] L.B. Sippi, M.R. Govindaraju and D.C. Jiles, J. Appl. Phys., 75(10), 6981(1994)
- [3] H.C. Kim, S.C. Yu, C.G. Kim, H.S. Han, W.K. Cho and D.H. Kim, J. Appl. Phys. 87(8) (in press)
- [4] 김효철, 홍권표, 김철기, 유성초, 한국자기학회지, 10(2), (in press)