

## CoFeSiB 아몰퍼스리본의 열처리에 의한 대바크하우젠 효과

### Large Barkhausen Effects by Annealing of CoFeSiB Amorphous Ribbon

임재근\*, 강재덕\*, 정병두\*\*, 신용진\*\*\*

( Jae-Geun Lim, Jae-Duk Kang, Byung-Doo Chung, Yong-Jin Shin )

#### Abstract

In this thesis, we measured the Barkhausen effect of CoFeSiB amorphous ribbon and then investigated its possibility to be used as a sensor material.

We used a sample of composition  $(Fe_{0.06}Co_{0.94})_{79}Si_{2.1}B_{18.9}$  with a thickness  $12[\mu m]$ , width  $2.5[mm]$  and length  $5[cm]$ , which was fabricated by a single roll method. In order to improve magnetic characteristics of the sample, we had carried on annealing in the magnetic field and in none magnetic field.

And, experimented results to the magnetic characteristics show that the ribbon has large Barkhausen jump even in weak magnetic field below  $0.5[Oe]$ . From the results, we confirmed that the sample can be used as an magnetic sensor material.

**Key Words(중요용어)** : amorphous(비정질), annealing in the magnetic field(자기중 열처리), large barkhausen jump(대큰바크하우젠 도약), magnetic sensor(자기센서).

#### 1. 서 론

아몰퍼스 자성재료합금은 우수한 자기적 성질을 가지고 있으며, 결정자기이방성이 없고, 자화가 자계의 방향으로 회전하기 쉬우며, 고투자율의 연자성재료를 얻을 수가 있으므로, 아몰퍼스 재료를 이용한 고성능, 고감도의 센서개발이 활발히 진행되고 있다.<sup>1,2,3)</sup>

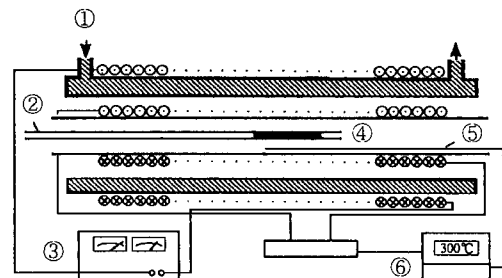
아몰퍼스 자성재료는 결정자기이방성이 없기 때문에, 아몰퍼스재료를 자기중열처리와 소자상태에서의 열처리를 하면, 자기이방성이 유도되어 그 부분이 자벽의 핀닝 사이트(pinning site)로 된다. 이 특성을 이용해서 아몰퍼스리본에 적당한 열처리를 하므로써, 대Barkhausen 도약특성을 얻을 수가 있다.<sup>4)</sup>

본 연구는 영자왜의  $(Fe_{0.06}Co_{0.94})_{79}Si_{2.1}B_{18.9}$  조성을 갖는 아몰퍼스리본으로서, 두께  $12[\mu m]$ , 길이  $5[cm]$  및 폭  $2.5[mm]$ 의 리본을 시료로 하고, 자기중열처리 한 시료리본의 자기적특성을 조사하여, LBJ특성을 확인한 것이다.

#### 2. 실험 방법

##### 2.1 자기중 열처리

본 실험에서는 이방성의 도입과 아몰퍼스제작시에 도입된 내부응력의 완화 및 자벽의 핀닝 사이트를 도입하기 위한 수단으로서, 아몰퍼스 시료리본에 자기중열처리를 하였다.<sup>1)</sup> 그림 1은 자기중 열처리로의 개략도이다. 열처리시의 인가자계는 약  $150[Oe]$  이었다.



① water cooling ② sample holder ③ power supply  
④ sample ⑤ thermocouple ⑥ temperature controller

그림 1. 자기중 열처리장치의 개략도

Fig. 1. Illustration of annealing furnace in the magnetic field.

\* : 극동정보대학 전자통신과

\*\* : 목포과학대학 정보통신과

\*\*\* : 명지대학교 전자정보통신공학부

## 2.2 자화곡선의 측정

그림 2는 아몰퍼스리본 시료의 자화특성을 측정하기 위해서, 실제 제작한 자화측정 시스템의 개략도이다.

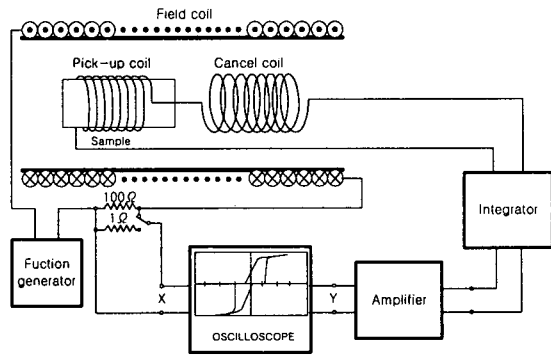


그림 2. 자화특성 측정장치의 개략도  
Fig. 2. Schematic diagram of measuring system of magnetization characteristics.

측정한 M-H곡선으로부터, 보자력( $H_c$ ), 자화곡선의 시프트, 자화반전자계( $H_w$ ) 및 jitter 등의 값을 얻었다.

그림 3은 측정된 자화곡선의 보자력, 자화반전자계 및 jitter의 값을 도식적으로 나타낸 것이다. 그림 3(a)의 실선은, 측정전의 직류자계와 같은 극성으로 외부자계를 인가하여 측정된 것이며, 점선은 인가자계의 극성을 그대로 하고, 시료의 방향을  $180^\circ$  회전시켜서 측정된 것이다. 따라서, 이 경우는 시료를  $180^\circ$  회전시킨 것뿐이므로, 지자기에 의한 자화특성의 상대적인 시프트(shift)에 미치는 영향을 무시하였다.

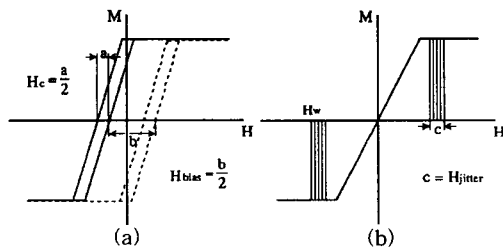


그림 3. 자화곡선  
Fig. 3. Magnetization curve.

이 자화곡선의 시프트는 외부자계가 바이어스를 받고 있는 것으로 생각되며, 시프트의 크기를 바이어스자계( $H_{bias}$ )로 하여 그림으로부터 얻어낸다. 보자력은 자화곡선폭의  $1/2$ 로 정하였다. jitter에 관해서도 그림 3(b)에 나타낸바와 같이, 반전자계의 오차의 폭을  $H_{jitter}$ 로 하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 바크하우젠 도약

그림 4(a)는  $150[\text{Oe}]$ 의 자계중,  $300^\circ\text{C}$ 에서 15분 동안 열처리를 한 자화곡선이며, 그림 4(b)는 (a)와 같이 자계중열처리를 한 후에 소자상태에서의 열처리를  $380^\circ\text{C}$ 에서 30분간 시행한 시료의 자화곡선이다. 즉, 시료에 2단계의 열처리를 행하므로서 LBJ특성을 얻을 수가 있었다. 소자상태에서의 아몰퍼스리본은 다자구 구조를 하고 있기 때문에, 이 상태에서 열처리를 하면 자벽부분에서는 스핀의 회전방향으로 이방성이 유도된다.<sup>4)</sup> 그 결과 자벽의 고착이 일어난다. 이 자벽을 핀드자벽(pinned wall)이라고 하며, 자화의 도약은, 핀드자벽의 자벽항자력보다 큰 자계가 인가되면, 이 자벽이 디핀닝(depining)되기 때문에, 일어나는 것으로 생각된다.

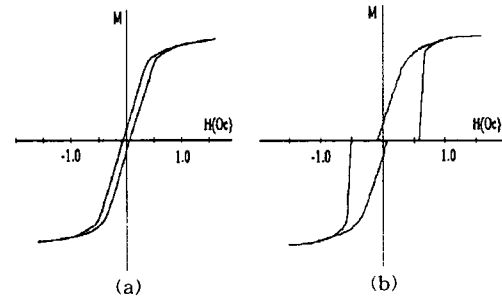
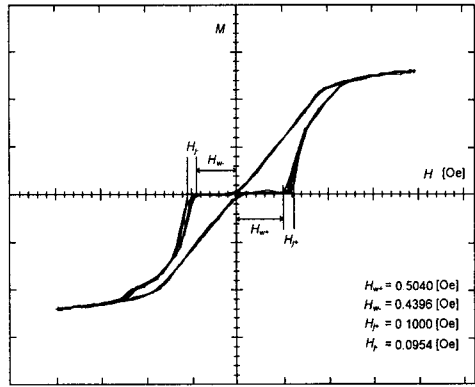


그림 4. 바크하우젠 점프 전 후의 자화곡선  
Fig. 4. Magnetization curve of before(a) and after(b) the Barkhausen jump.

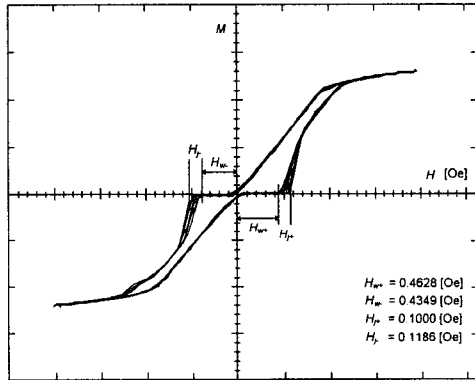
### 3.2 시료리본의 자화특성

앞에서 기술한 바와 같이, 본 연구에서 사용한 아몰퍼스리본의 바크하우젠 도약특성을 조사하기 위하여, 제 1단계로 시료리본을 결정화 온도이하에서 자계중 열처리( $300^\circ\text{C}$ , 10, 20, 30min,  $150[\text{Oe}]$ )를 한 다음, 교류소자한 뒤에, 다시 2단계로 무자계 중  $380^\circ\text{C}$ 에서의 열처리 시간에 따른 바크하우젠 점프특성을 조사하였다. 그림 5는 바크하우젠 도약을 나타낸 시료리본의 자화곡선을 나타낸 것이다.

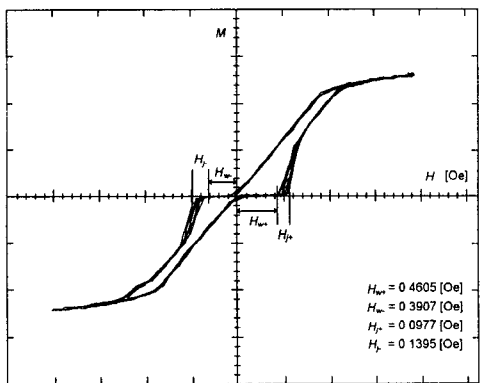
자화곡선의 측정은  $60\text{Hz}$ 의 교류여자자계를 솔레노이드를 통하여 시료에 인가하면서 자화곡선을 10회 반복하여 측정했으며, 매회 반복할 때마다 작은 오차가 나타나는데, 이것은 교류자계에 의한 시료내의 자벽의 jitter에 의한 것으로 알려져 있다. 그림에서 자화의 급격한 상승, 즉, 바크하우젠 도약은 시료단에서 부터 진행된다는 것이 알려져 있다. 도약전에는 시료단에 복수의 핀드자벽이 있어서, 핀닝으로부터 벗어나는 자벽이 매 회마다 다르게 되는데, 이것이 jitter의 원인인 것으로 알려져 있다.



(a) 10 min after annealing



(b) 30 min after annealing



(c) 60 min after annealing

그림 5. 시료리본의 M-H곡선 (바크하우젠 도약)

Fig. 5. M-H loop of sample ribbons (Barkhausen jump).

그림 5에서 알 수 있는 바와 같이, 자화반전자계( $H_w$ )가 열처리 시간이 지남에 따라 약간씩 작아지고 있으며 깃터는 조금씩 커지는 것을 알 수 있다. 이것은 시료리본의 자화과정에서 표면결정층이 관여하고 있는 것으로 생각된다.<sup>5)</sup>

그림 6은 대바크하우젠 도약이 일어나는 자화반전자계( $H_w^+$  or  $H_w^-$ )의 2단계 열처리(380°C)후의 시간경과에 따른 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 20분 이후부터는 열처리 시간에 관계없이 그 변화가  $\pm 0.01$ [Oe] 정도로서 거의 안정하였으며, 본 연구에서 사용한 리본시료가  $\pm 0.5$ [Oe] 부근의 미약자계에 의해서 대바크하우젠 도약이 일어나고 있음을 확인하였다.

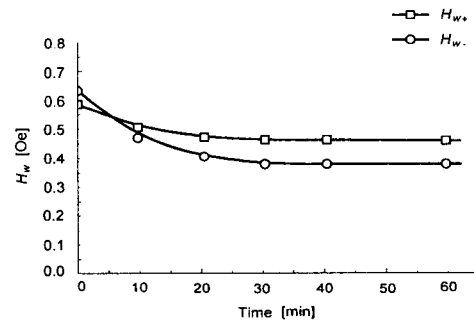


그림 6. 자화반전자계의 변화

Fig. 6. Variation of reversal magnetization field.

그림 7은 열처리시간과 자화반전자계( $H_w$ )의 관계를 나타낸 것이다.  $H_w$ 는 약 0.7[Oe]에서 포화되는 경향을 나타내고 있으며, 이 자화반전자계의 값은 핀드자벽(pinned wall)의 자벽항자력이 아니고, 새로운 자벽이 뉴클리에이트(nucleate)되므로서 일어나는 자계값으로 생각된다.

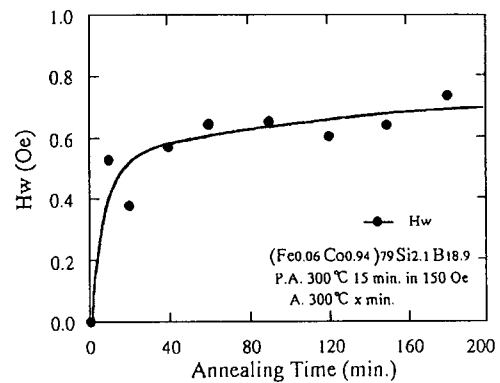


그림 7. 자화반전자계의 열처리시간 의존성

Fig. 7. Annealing time dependency of  $H_w$ .

그림 8은 열처리온도 370°C에서 열처리시간에 따른 시료리본의 보자력(Hc)과 바이어스자계(H<sub>bias</sub>)의 변화를 나타낸 것이다. H<sub>bias</sub>는 20분이상의 열처리에서 나타나며, 80분에서 포화하는 경향이 있다. 즉, H<sub>c</sub>는 잔류응력의 변화에 의해서 증가하는데, H<sub>bias</sub>가 생기면 감소하고 있다. 이것은 아몰퍼스상의 결정화가 진행됨에 따라, H<sub>bias</sub>는 결정층의 석출에 의하여 생기는 것으로 생각되며, 결정층은 370°C에서 20분 정도의 열처리에 의해서 형성되어, H<sub>c</sub>를 감소시켜서, 연자기특성을 개선시킨다는 것을 알았다.

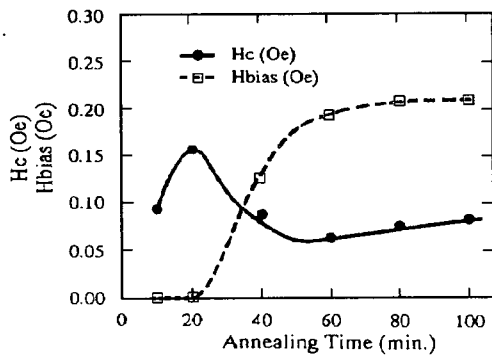


그림 8. 보자력과 바이어스자계의 열처리시간 의존성

Fig. 8. Annealing time dependency of H<sub>bias</sub> and H<sub>c</sub>.

#### 4. 결 론

이상과 같이, 본 연구를 통하여 얻은 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 열처리한 아몰퍼스시료리본에 ±0.5[Oe] 정도의 미약한 자계에 의해서도 대Barkhausen 도약이 일어난다는 것을 확인하였다.

(2) 열처리한 시료리본은 반전자계(H<sub>w</sub>)와 바이어스자계(H<sub>bias</sub>)의 영향에 민감한 반응을 나타냈으며, 자기센서로서의 특성이 있음을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

1. 中野忠幸, 山崎二郎 ; 電氣學會誌, 115-A, 10, (1995)
2. J.Yamasaki ; "Sensing Function Amorphous Magnetic Materials", 日本應用磁氣學會誌, 16, (1), 14 (1992)
3. F.B.Humphrey, K.Mohri, J.Yamasaki, R.Malhall and I.Ogasawara ; Proc. of Symp. on Magnetic Properties of Amorphous Metals, 10, 116 (1987)

4. F.B.Humphrey; "Large Barkhausen Effect and Matteucci Effect in Amorphous Magnetostrictive Wires for Pulse Generator Element", IEEE Trans. Magn., MAG-21, 2017 (1985)
5. F.B.Humphrey, K.Mohri, J.Yamasaki, H.Kawamura, R.Malhall and I.Ogasawara ; Proc. of Symp. on Magnetic Properties of Amorphous Metals, 10, 116 (1987)