

## 고투자율, 고평화자화 FeZrBAg 연자성 박막의 자기적 특성

민복기 · 김현식 · 송재성

한국전기연구소 신소재응용연구그룹, 경남 창원시 성주동 28-1, 640-120

(1999년 9월 29일 받음, 1999년 11월 5일 최종수정본 받음)

고투자율 및 고평화자화 특성을 동시에 만족하는 새로운 연자성 박막을 개발하기 위해 Fe-Zr-B계 조성에 Fe원소와 비고용 원소인 Ag를 첨가시킨  $Fe_{86.7}Zr_{3.3}B_4Ag_6$  비정질 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 제조한 후 일축 자장중에서 1시간 동안 진공 열처리를 한 후  $f_{an}$ 을 이용하여 냉각하여 특성을 조사하였다.  $Fe_{86.7}Zr_{3.3}B_4Ag_6$  박막을 400 °C에서 열처리한 경우 1.7 T의 높은 포화자화와 1 Oe의 낮은 보자력으로 인해 50 MHz에서 투자율이 7,800(0.2 mOe)으로 우수한 연자기 특성을 나타내었으며, 1 MHz에서 손실이 1.4 W/cc( $B_m = 0.1$  T)로 매우 낮았다. 이러한 우수한 고주파 연자기 특성은 Ag 첨가에 의해 비정질 기지에 미세한 bcc  $\alpha$ -Fe cluster가 균일하게 형성되었기 때문이라 생각된다.

### I. 서 론

박막 인덕터, 박막 변압기와 같은 자기 소자의 소형화와 고성능화를 위해 고평화 자화와 우수한 연자성을 가지는 박막 재료의 개발이 필수적이며, 이러한 요구 조건을 만족하는 새로운 연자성 박막 재료 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

지금까지 연구된 연자성 박막은 Fe계와 Co계 연자성 박막으로 크게 나눌 수 있으며, 일반적으로 Fe계 박막은 고평화 자화 특성, Co계 박막은 영자기 변형 조성에서 고투자율과 저보자력으로 인해 고주파 특성이 우수하다. 그러나 Fe계 비정질 박막은 자기변형이 크고, 고주파 특성이 나쁘고, Co계는 저포화 자화를 나타내는 단점이 있다. 따라서 포화 자화값이 높고 고주파 영역에서 투자율이 높은 특성을 동시에 만족하는 연자성 박막의 개발이 계속되고 있다[2].

최근에는 단상의 비정질 박막이 아닌 비정질 기지에 nm 크기의 결정립 석출시킨 FeZrB계와 Fe-M(Hf, Ti, V)-X(C, N, B)의 나노 결정립(nano-crystalline) 박막[3]과 미세한 결정립 주위에 고저항 물질을 분산시킨 고저항 granular 구조의 CoAlO, FeAlO 등의 박막은 고주파에서 투자율 특성이 향상되고 손실이 감소한다는 보고가 있다[4]. 그러나 이들의 박막은 대부분 500 °C 이상에서 고온에서 열처리를 해야 하며 투자율이 수십 MHz에서 3000 이하로 고투자율과 고평화 자화 특성을 동시에 만족하지는 않는다.

따라서 본 연구에서는 MHz 주파수 영역에서 고투자율과 고평화자화 특성을 동시에 만족하는 연자성 박막을 제

조하기 위해 FeZrB계에 Fe와 비고용 원소인 Ag 첨가한 FeZrBAg 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 제조하고, 일축자장중 열처리에 의한 FeZrBAg 박막의 구조변화 및 자기적 특성 변화에 대해 고찰하였다.

### II. 실험방법

본 연구에서는 FeZrBAg 비정질 박막을 제조하기 위해 DC 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하였으며, 조성이  $Fe_{87}Zr_7B_6$ 인 타겟 위에 Ag 소편을 장착하여 FeZrBAg 박막을 복합 타겟 방식으로 (100)으로 배향된 Si-wafer 위에 0.5  $\mu$ m의 두께로 증착하였다. 초기 진공도는  $3 \times 10^{-6}$  Torr 이하이고, Ar 유량은 13 sccm, 증착 전류는 100 mA, 증착 압력 4 mTorr로 고정한 조건에서 박막을 제조하였으며 또한 본 연구에서는 FeZrBAg 비정질 박막을 얻기 위해서 증착시 기판을 수냉하였다. Table I에 본 연구에서 사용한 FeZrBAg 박막의 증착 조건을 나타내었으며, 본 연구에서 증착한 박막의 조성은  $Fe_{86.7}Zr_{3.3}B_4Ag_6$ (이하 FeZrBAg로 표기)이었다.

Table I. Deposition conditions of  $Fe_{86.7}Zr_{3.3}B_4Ag_6$  thin films

Parameter	Conditions
Vacuum	Less than $3 \times 10^{-6}$ Torr
Substrate	Si-wafer (water cooling)
Target	$Fe_{87}Zr_7B_6$ (4")
Chip	Ag (4N, $5 \times 5 \times 1$ mm <sup>3</sup> )
DC Power	100 mA
Ar Pressure	4 mTorr
Film Thickness	0.5 $\mu$ m
S-T distance	90 mm

증착된 FeZrBAg 박막의 이방성을 인가하기 위해 진공 자장중 열처리 장치를 이용하여 진공도를  $10^{-6}$  Torr 이하로 한 후, 자장은 1.5 kOe로 인가하여  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 의 승온 속도로  $300\sim 700^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서 1시간 동안 일축 자장중 열처리(uniaxial field annealing, UFA)를 행한 후 fan을 이용하여 상온까지 냉각시켰다.

증착된 박막의 두께는 표면 단차 측정기( $\alpha$ -step)와 주사 전자현미경(scanning electron microscope, SEM)을 이용하여 측정하였고, 자기적 특성은 진동시료형 자력계(vibrating sample magnetometer, VSM)를 이용하여 인가 자장 50 Oe와 5 kOe에서 보자력( $H_c$ )과 포화자화( $4\pi M_s$ )를 각각 측정하였다. 이방성 자계( $H_k$ )는 VSM으로 측정된 M-H 자기 이력 곡선으로부터 구하였다[5]. 전기 비저항은 4 단자법으로 진공 중에서 승온 속도를  $0.5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 로 하여  $700^{\circ}\text{C}$ 까지 측정하였으며, 투자율은 1 turn coil 방식의 측정 치구(Ryowa Co.)와 network analyzer (HP 8752C)를 이용하여 자장을 0.2 mOe 인가하여 1 MHz~1,000 MHz의 주파수 범위에서 측정하였다. 또한 x-선 회절분석기(x-ray diffractometer, Cu K $\alpha$ )를 이용하여 박막의 결정구조 분석과 격자상수를 구하였으며, Scherrer 식[7]을 이용하여 열처리 온도에 따른 결정립 크기 변화를 구하였다.

### III. 결과 및 고찰

그림 1은 증착된 FeZrBAg 박막의 온도에 의한 전기 비저항 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 증착된 상태에서 전기 비저항이  $150\ \mu\Omega\text{cm}$ 로 전형적인 비정질 구조를 가짐을 유추할 수 있으며[6],  $400^{\circ}\text{C}$ 까지는  $140\ \mu\Omega\text{cm}$ 의 값을 유지하며, 그 이상의 온도에서는 비저항이 감소하기 시작하여  $600^{\circ}\text{C}$ 에서는  $80\ \mu\Omega\text{cm}$ 의 값을 나타낸다. 이러한 전기 비저항의 변화 거동으로  $400^{\circ}\text{C}$ 에서 결정화가 일어나기 시작함을 알 수 있다.

따라서 열처리 온도에 따른 FeZrBAg 박막의 결정 구조 변화를 알아보기 위해 XRD 분석한 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림에서와 같이 증착된 상태에서 비정질상이며, 열처리 온도가 증가함에 따라  $400^{\circ}\text{C}$ 에서 결정화가 일어나기 시작한다. 이는 그림 1에서 같이  $400^{\circ}\text{C}$ 에서 전기 비저항이 감소하기 시작하는 결과와 잘 일치함을 알 수 있다. 또한  $500^{\circ}\text{C}$ 에서는 bcc  $\alpha$ -Fe 결정상이 생성되며,  $600^{\circ}\text{C}$ 까지 bcc  $\alpha$ -Fe 결정상 이외에 다른 결정상은 생성되지 않았지만,  $700^{\circ}\text{C}$ 에서는  $\alpha$ -Fe,  $\text{Fe}_3(\text{Zr, B})$ 계 화합물 및 기판과 반응하여 생성된 FeSi 결정상들이 혼재되어 있

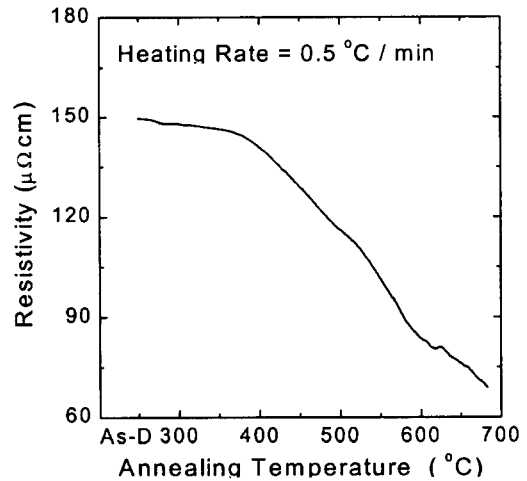


Fig. 1. Changes in the resistivity ( $\rho$ ) as function of the annealing temperature for amorphous  $\text{Fe}_{86.7}\text{Zr}_{3.3}\text{B}_4\text{Ag}_6$  thin films.

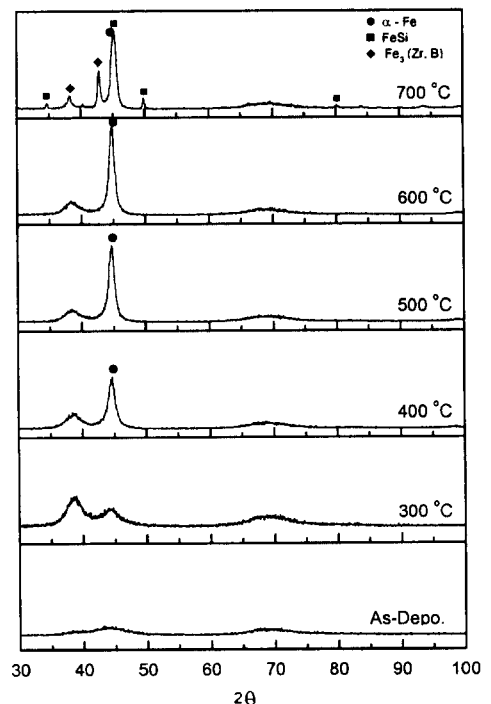


Fig. 2. XRD patterns of  $\text{Fe}_{86.7}\text{Zr}_{3.3}\text{B}_4\text{Ag}_6$  thin films annealed at various temperatures (Cu K $\alpha$ ).

음을 알 수 있다.

그림 3은 FeZrBAg 박막의 XRD 피크로부터 Scherrer 식[7]을 이용하여 구한 결정립 크기와  $\alpha$ -Fe의 격자 상수를 구한 결과이다.  $400^{\circ}\text{C}$ 에서 생성된 bcc  $\alpha$ -Fe 결정립

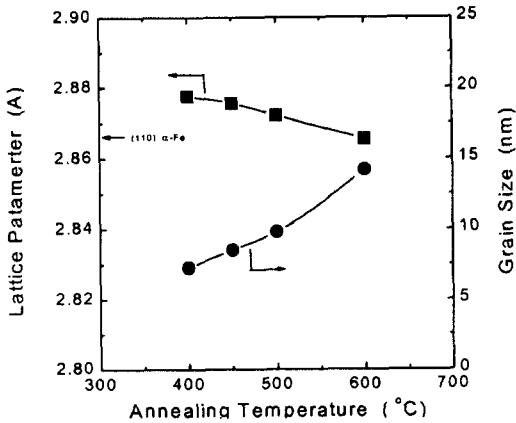


Fig. 3. Changes in the lattice parameter and grain size as a function of the annealing temperature for amorphous  $\text{Fe}_{86.7}\text{Zr}_{3.3}\text{B}_4\text{Ag}_6$  thin films.

의 크기는 7.2 nm이며, 격자 상수가 0.28775 nm로 순수한 bcc  $\alpha\text{-Fe}$  (0.28664 nm)[8]보다 조금 크다. 이는 생성된 bcc  $\alpha\text{-Fe}$  결정상은 Zr이나 B 원자를 함유하고 있음을 의미한다. 열처리 온도가 증가함에 따라 결정립 크기는 증가하고, 격자상수는 감소하여 600 °C에서는 결정립 크기가 14.2 nm이며, 격자 상수 0.28550 nm로 순수한 bcc  $\alpha\text{-Fe}$ 의 격자 상수보다 작다. 이는 600 °C에서 bcc  $\alpha\text{-Fe}$ 가 다른 상으로 분해되기 시작함을 알 수 있다. Suzuki 등이 보고한 FeZrBCu 연자성 합금의 경우 500 °C에서 bcc  $\alpha\text{-Fe}$ 가 생성되기 시작하여 650 °C까지 단상의 bcc  $\alpha\text{-Fe}$ 만 생성된다고 보고하였다[9]. 그러나 본 연구에서와 같이 FeZrBAG 비정질 박막은 결정화가 400 °C에서 일어나기 시작하므로 Fe 원소와 비고용 원소인 Ag가 bcc  $\alpha\text{-Fe}$  결정 석출을 촉진시킴을 알 수 있다. 또한 FeZrBCu 합금에서는 550 °C~650 °C 온도 범위에서 결정립 크기는 17 nm~20 nm 정도이지만 본 연구에서는 600 °C에서 결정립 크기가 14.2 nm로 FeZrBCu 박막 보다 더 미세한 결정립을 가짐을 알 수 있다. 이는 FeZrB에 Ag를 첨가할 경우 bcc  $\alpha\text{-Fe}$ 의 결정 생성이 촉진되며 결정립이 미세해짐을 의미하며, 본 연구자들이 보고한 FeZrBAG 비정질 합금의 연구 결과와 일치한다[10]. 이상의 결과로부터 FeZrBAG 박막은 열처리 온도에 증가함에 따라 Table II와 같이 결정구조가 단상의 비정질  $\rightarrow$  비정질+bcc  $\alpha\text{-Fe}$  cluster  $\rightarrow$  bcc  $\alpha\text{-Fe}$  nanocrystalline  $\rightarrow$  bcc  $\alpha\text{-Fe}$  crystalline  $\rightarrow$  bcc  $\alpha\text{-Fe}+\text{Fe}_3(\text{Zr, B})+\text{FeSi}$ 로 변화함을 알 수 있다.

그림 4는 열처리 온도에 따른 FeZrBAG 비정질 박막의 포화 자화와 보자력의 변화를 나타낸 것이다. 포화 자화의

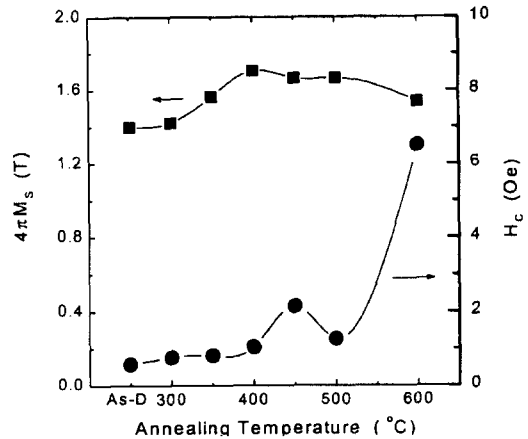


Fig. 4. Changes in the  $4\pi M_s$  and  $H_c$  as a function of the annealing temperature for amorphous  $\text{Fe}_{86.7}\text{Zr}_{3.3}\text{B}_4\text{Ag}_6$  thin films.

경우 증착된 박막 상태에서 1.4 T 이상의 높은 값을 나타낸다. FeZrBCu 합금의 경우 비정질 상에서는 인바 효과 (invar effect)로 인해 비정질 상태에서 포화 자화가 0.5 T 이하의 낮은 값을 가지지만[9], 본 연구에서와 같이 FeZrBAG 박막은 비정질 상태에서도 1.4 T 이상의 높은 포화 자화값을 가지므로 인바 효과는 나타나지 않는다고 생각된다. 또한 열처리 온도가 증가함에 따라 포화 자화는 증가하여 400 °C에서 1.7 T의 값을 가지며, 500 °C까지 1.67 T의 일정한 값을 유지한다. 600 °C에서 FeZrBAG 박막은 앞선 그림 3의 결과로부터 bcc  $\alpha\text{-Fe}$  결정상이 분해가 일어나기 시작하므로 포화 자화는 감소하여 1.5 T의 값을 가진다. 전체적으로 열처리를 함에 따라 증착된 상태 보다 포화 자화가 증가하였는데 이는 bcc  $\alpha\text{-Fe}$  결정 생성으로 인해 스핀 상호 작용이 단상의 비정질보다 강하게 일어남을 의미한다. FeZrBAG 박막의 보자력 경우 증착된 상태에서 0.6 Oe의 매우 낮은 값을 가지며, 열처리 온도가 증가함에 따라 보자력은 증가하여 400 °C에서 1 Oe의

Table II. Changes in the crystal structure as a function of the annealing temperature for  $\text{Fe}_{86.7}\text{Zr}_{3.3}\text{B}_4\text{Ag}_6$  thin films

Temperature (°C)	Crystal Structure	Grain Size of $\alpha\text{-Fe}$ (nm)
As-deposited	Amorphous phase	-
300	Amorphous phase	-
400	Amorphous phase + bcc $\alpha\text{-Fe}$ cluster	7.2
500	bcc $\alpha\text{-Fe}$ crystalline	9.8
600	bcc $\alpha\text{-Fe}$ crystalline	14.2
700	bcc $\alpha\text{-Fe} + \text{Fe}_3(\text{Zr, B}) + \text{FeSi}$	-

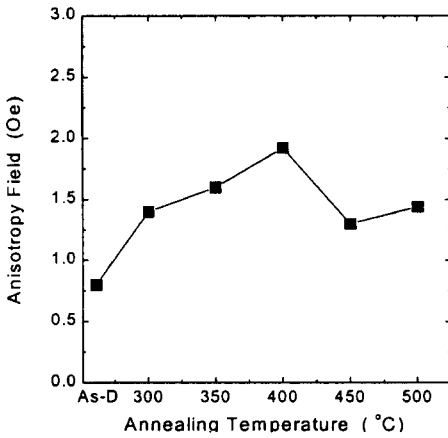


Fig. 5. Changes in the anisotropy field ( $H_k$ ) as a function of the annealing temperature for amorphous  $Fe_{86.7}Zr_{3.3}B_4Ag_6$  thin films.

값을 가진다. 500 °C에서 보자력이 다시 감소하는 이유는  $\alpha$ -Fe의 나노 결정립(nanocrystalline)이 생성되었기 때문이라 생각되며, 600 °C에서는 결정립 성장과  $\alpha$ -Fe 결정의 분해로 인해 보자력이 급격히 증가한다. 이상의 결과로 열처리 온도 400 °C에서 포화 자화가 가장 높고, 보자력이 작아 우수한 연자기 특성을 나타낼 것으로 기대된다.

일반적으로 마그네트론 스퍼터링법으로 박막을 제조할 경우 타겟의 누설자속으로 인해 불규칙한 방향으로 자기 이방성이 생성되므로 이러한 불규칙 이방성을 제어하기 위해 일축자장 중에서 열처리를 한다[5]. 따라서 그림 5에 일축자장중 열처리 온도에 따른 FeZrBAG 박막의 이방성 자계의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 온도가 증가함에 따라 이방성 자계는 증가하며, 400 °C에서 2 Oe의 최대값을 나타내며, 그 이상의 온도에서는 감소한다. 고주파 영역에서 투자율은  $M_s/H_k$ 의 식으로부터 구할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 400 °C에서 포화 자화가 1.7 T이고, 이방성 자계가 2 Oe로 고주파 영역에서 투자율이 높고 다른 열처리 조건 보다 이방성 자계가 가장 크므로 투자율의 주파수 특성이 우수할 것으로 예측된다. 전체적으로 Co-계 연자성 박막보다는 이방성 자계가 상당히 낮았다.

그림 6는 50 MHz에서 측정된 FeZrBAG 박막의 투자율의 변화를 나타낸 것으로 열처리 온도가 증가함에 따라 투자율이 증가하며, 300~500 °C까지는 투자율이 4000 이상의 높은 값을 가진다. 특히 400 °C에서 일축자장중 열처리한 경우 투자율이 7800으로 지금까지 보고된 FeZrBCu 박막(3200, 1 MHz), FeHfC 박막(5250, 1 MHz), CoZrFe

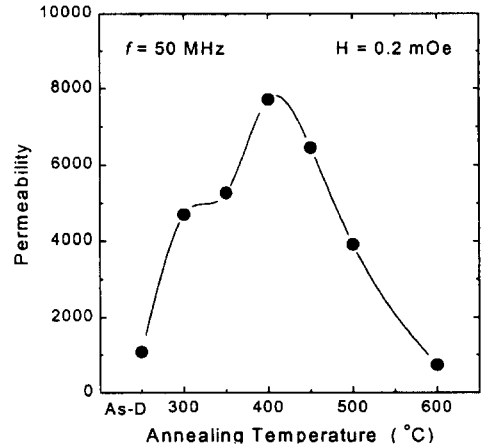


Fig. 6. Changes in the permeability (50 MHz) as a function of the annealing temperature for amorphous  $Fe_{86.7}Zr_{3.3}B_4Ag_6$  thin films.

박막(5000, 10 MHz)[11] 등 보다 높은 값을 가진다. Herzer는 결정립 크기가 35 nm이하인 초미세 결정립 합금의 경우 투자율은 포화 자화의 2승에 비례하고, 결정립 크기의 6승에 반비례한다고 보고하였다[12]. 따라서 본 연구에서와 같이 FeZrBAG 박막을 400 °C에서 열처리한 경우 50 MHz에서 7800의 매우 높은 투자율을 나타낸 것은 결정립 크기가 7.2 nm 정도로 매우 미세하고 포화 자화가 1.7 T로 매우 높고, 또한 비정질 상+ $\alpha$ -Fe cluster 구조로 인해 결정자기 이방성이 작고, 보자력이 작기 때문이라 생각된다.

그림 7은 연자기 특성이 가장 우수한 열처리 조건인

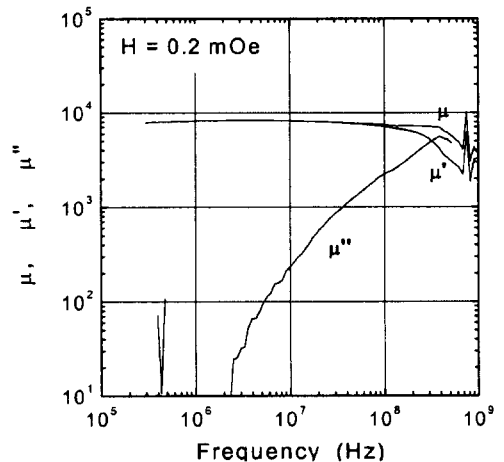


Fig. 7. Changes in the permeability ( $\mu$ ,  $\mu'$ ,  $\mu''$ ) as a function of the frequency for amorphous  $Fe_{86.7}Zr_{3.3}B_4Ag_6$  thin films.

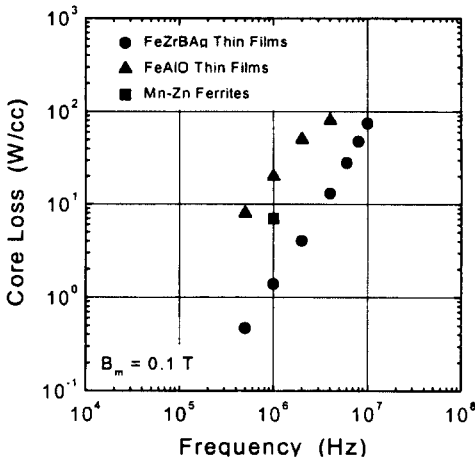


Fig. 8. Changes in the core loss as a function of the frequency for annealed Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> thin films at 400 °C.

400 °C에서 1시간 일축자장중 열처리한 FeZrB<sub>4</sub>Ag 박막의 투자율·주파수 의존성을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 투자율은 7500 이상의 높은 값을 가지고 100 MHz까지는 그 값이 일정하게 유지되며, 200 MHz에서 공명이 일어나 투자율은 급격히 감소한다. 이는 앞선 결과와 같이 400 °C에서 7.2 nm 정도의 미세한 α-Fe cluster 생성으로 인해 자구가 미세화 되어 고주파에서 스핀 회전이 잘 일어나기 때문이라 생각되며[10] 이로 인해 투자율은 100 MHz까지 우수한 고주파 특성을 나타낸다.

이상의 결과로 Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> 비정질 박막을 400 °C에서 일축 자장중 열처리한 경우 가장 우수한 연자기 특성을 나타내었다. 따라서 그림 8은 400 °C에서 일축자장중 열처리를 행한 FeZrB<sub>4</sub>Ag 박막의 손실을 주파수 변화에 따라 나타내었다. 비교를 위해 최근 고주파 특성이 우수하다고 보고된 고저항 연자성 FeAlO 박막과 Mn-Zn 페라이트의 손실 값을 나타내었다[13]. 본 연구에서 제조한 FeZrB<sub>4</sub>Ag 연자성 박막 전체적으로 손실이 상당히 낮은 값을 나타내며, 1 MHz에서는 손실이 1.4 W/cc로 고저항 FeAlO 박막의 손실과 비교하여 1/10 정도로 매우 낮으며, Mn-Zn 페라이트보다도 낮은 특성을 나타낸다. 이는 앞선 결과와 같이 고주파에서 투자율이 높고, 140 μΩcm의 저항 특성에 의한 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

FeZrB계 조성에 Fe원소와 비고용 원소인 Ag를 첨가시

킨 Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> 비정질 박막을 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 제조한 후 일축 자장중에서 1시간 동안 진공 열처리를 한 후 fan을 이용하여 냉각하여 Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> 비정질 박막의 구조와 특성에 대해 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> 비정질 박막 Ag 첨가로 인해 결정화가 촉진되어 400 °C에서 결정화가 일어나기 시작하며 500 °C까지 결정립 크기가 10 nm 이하인 미세한 bcc α-Fe 결정상만이 석출된다.

2) Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> 비정질 박막을 400 °C에서 일축자장중 열처리한 경우 1.7 T의 높은 포화 자화와 1 Oe의 낮은 보자력으로 인해 50 MHz에서 투자율이 7800(0.2 mOe)으로 매우 우수한 연자기 특성을 나타내었으며, 100 MHz 영역까지 일정한 값을 유지하며, 1 MHz에서 손실이 1.4 W/cc(B<sub>m</sub>=0.1 T)로 매우 낮았다. 이러한 우수한 고주파 연자기 특성은 Ag 첨가에 의해 비정질 기지에 7.2 nm 크기의 매우 미세한 bcc α-Fe cluster가 균일하게 형성되었기 때문이라 생각된다.

#### 참고문헌

- [1] H. Hayakawa, T. Hatanai, A. Makino, K. Yamasawa, 日本電氣學會マグネティックス研究會, **MAG-96-161**, 25(1997).
- [2] 김현식, 김병걸, 송재성, 오영우, 한국자기학회지, **5**, 8(1995).
- [3] H. Fujimori, 日本應用磁氣學會紙, **21**(3), 99(1997).
- [4] S. Ohnuma, T. Masumoto, 日本電氣學會マグネティックス研究會, **MAG-96-158**, 1(1996).
- [5] 김현식, 민복기, 송재성, 오영우, 한국전기전자재료학회 논문지, **11**(6), 486(1998).
- [6] F. E. Luborsky, Amorphous Metallic Alloys, Butterworths, (1983), pp. 403.
- [7] B. D. Cullity, Elements of X-ray diffraction, Addison-Wesley Pub. Co. Inc., (1967), pp. 99
- [8] W. D. Pearson, A Handbook of Lattice Spacings and Structure of Metals and Alloys, Pergamon, Oxford, (1964), pp. 625.
- [9] A. Makino, K. Suzuki, A. Inoue, T. Masumoto, Mat. Trans. JIM, **32**(6) 551(1991).
- [10] H. S. Kim, B. G. Kim, J. S. Song, and Y. W. Oh, J. Appl. Phys., **77**(10), 5298(1995).
- [11] 한석희, 박사학위논문, 서울대학교, 4(1993).
- [12] G Herzer, IEEE Trans. Magn., **26**, 1397 (1990).
- [13] M. Munakata, M. Yamaoka, M. Yagi, H. Shimada, 日本電氣學會マグネティックス研究會, **MAG-98-17**, 25(1998).

## **Magnetic Properties of FeZrB<sub>4</sub>Ag Soft Magnetic Thin Films with High Permeability and High Magnetization**

**Bok-Ki Min, Hyun-Sik Kim and Jae-Sung Song**

*Advanced Electrical Materials Group, KERI P. O. Box 20, Changwon 641-600, Korea*

(Received 29 September 1999, in final form 5 November 1999)

The magnetic properties of sputtered amorphous Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> thin films, which contains an additional insoluble element Ag, have been investigated as a function of uniaxial field annealing temperature. The amorphous Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> thin films produced by relatively low temperature annealing at 400 °C for 1 hour was found to have very high permeability of 7800 at 50 MHz, 0.2 mOe, high magnetization of 1.7 T, low coercivity of 1.0 Oe and very low core loss of 1.4 W/cc at 1 MHz, 0.1 T, respectively. It is notable that the permeability and core loss values for various kinds of the soft magnetic thin films reported up to now. The reason for the appearance for the good soft magnetic properties is presumably due to the homogeneous formation of very fine bcc  $\alpha$ -Fe clusters with the size in the amorphous Fe<sub>86.7</sub>Zr<sub>3.3</sub>B<sub>4</sub>Ag<sub>6</sub> thin films matrix, which can be deduced from the XRD results.