

이온빔 스퍼터링에 의해 증착된 Mn-Zn 페라이트 박막의 자기 및 전기적 특성

조해석 · 하상기 · 이대형 · 주한용 · 김형준 · 김경용* · 제해준* · 유병두**

서울대학교 무기재료공학과

*한국과학기술연구원 세라믹스연구단

**국방과학연구소

(1994년 10월 18일 접수)

Magnetic and Electrical Properties of Mn-Zn Ferrite Thin Films Deposited by Ion Beam Sputtering

H. S. Cho, S. K. Ha, D. H. Lee, H. Y. Joo, H. J. Kim, K. Y. Kim*,
H. J. Je*, and B. D. Yoo**

Dept. of Inorg. Mater. Eng., Seoul National University

*Korean Institute of Science and Technology

**Agency for Defence and Development

(Received October 18, 1994)

요 약

이온빔 스퍼터링법에 의해서 SiO₂/Si(100) 기판 위에 증착된 Mn-Zn 페라이트 박막의 우선배향성과 자기 및 전기적 특성을 분석하였다. Cu가 첨가된 Mn-Zn 페라이트 박막은 약한 (311) 배향성이 혼합된 (111) 우선배향성을 나타낸 반면, Zn가 첨가된 박막은 강한 (111) 우선배향성만을 나타내었다. Cu나 Zn가 첨가된 박막의 포화자화는 기판온도 증가에 따른 입자크기의 증가와 결정성 향상으로 인해 기판온도에 비례하여 증가하였다. 이로 인해서 보자력 또한 기판온도가 증가할수록 증가하는 경향을 보이지만, 어느 정도 이상에서는 온도의 증가에 따른 박막내의 결함 감소와 다자구 입자의 형성으로 보자력은 약간 감소한다. 복소 임피던스법으로 측정된 박막의 비저항은 기판온도가 증가하면서 감소하는 경향을 보였는데, 이는 기판온도가 증가하면서 박막의 결정화도가 향상되고 입자크기가 증가함에 따라 입계의 양이 줄어들기 때문인 것으로 생각된다.

ABSTRACT

We investigated the preferred orientation, electrical and magnetic properties of the Mn-Zn ferrite thin films deposited on SiO₂/Si(100) by ion beam sputtering. The Cu-added Mn-Zn ferrite thin films had a preferred orientation of (111) with a weak orientation, (311). While the Zn-added one had a strong (111) preferred orientation. The saturation magnetization of the Cu- or Zn-doped Mn-Zn ferrite films increased with increasing substrate temperature (T_s) due to the increase of grain size and the enhancement of crystallinity. For the same reason the coercivity of Cu- or Zn-doped Mn-Zn ferrite films deposited at low T_s increased with increasing T_s, but those of the films deposited at high T_s slightly decreased not only because the defect density of the films decreases but because more grains have multi-domains with increasing T_s. The resistivity of Cu- or Zn-added Mn-Zn ferrite thin films measured by complex impedance method decreased with increasing T_s due to the enhancement of crystallinity as well as due to the increase of grain size.

Key words: Mn-Zn ferrite thin films, Ion beam sputtering, Magnetic property, Electrical property

1. 서 론

Mn-Zn 페라이트는 산화물 형태인 연자성 복합 페라이트로서 Mn^{+2} 이온과 Fe^{+3} 이온의 magnetic moment가 모두 $5 \mu_B$ 이므로 다른 페라이트에 비하여 높은 초기투자율과 포화자화를 갖는다. 또한 Mn-Zn 페라이트는 다른 페라이트에 비하여 전기저항은 떨어지나, 저손실의 비교적 높은 큐리온도를 가지고 있다. 이와 같은 특성 때문에, 라디오의 안테나 코일 코어, TV 브라운관의 편향 코어, 녹음녹화용 마그네틱 헤드, 중간주파수 transformer, microwave circulator 등 전자통신 분야에 다양한 용도를 가지고 있다¹⁾.

페라이트 박막을 증착시키는 방법은 매우 다양하다. 금속 박막 증착 후 산화^{2,3)}, 무전해 도금의 일종인 plating 법^{4,5)}, 화학기상증착법^{6,8)}, sputtering 법^{9,11)}, evaporation 법의 일종인 laser ablation 법^{12,14)}, spin spray¹⁵⁾, hydrolytic deposition¹⁶⁾ 등 박막 제조시 이용될 수 있는 대부분의 방법으로 제조되었다. 그러나, 위의 방법들은 공정온도가 고온이거나 후열처리가 필요한 단점이 있다.

본 연구 그룹에서는 다른 증착법에 비하여 비교적 좋은 성질의 박막을 얻을 수 있어서 광학박막의 증착에 많이 이용되는 이온빔을 이용한 증착법¹⁷⁾ 중의 하나인 이온빔 스퍼터링법으로 우수한 물성을 가지는 Mn-Zn 페라이트 박막을 성공적으로 증착시켰고 그 증착기구를 규명해 왔다¹⁸⁻²²⁾. 첨가제를 가하지 않고 증착된 Mn-Zn 페라이트 박막은 대부분 (111) 우선배향성을 가졌으나 Ti를 첨가할 경우는 (100) 우선배향성을, Cu를 첨가하면 약한 (311) 우선배향성이 혼합된 (111) 우선배향성을, 그리고 Zn를 첨가하면 강한 (111) 우선배향성을 가졌다²⁰⁾. 또한 Ti를 첨가한 Mn-Zn 페라이트 박막은 두께 증가에 관계없이 (100) 우선배향성을 유지한 반면에 Cu를 첨가한 박막은 두께의 증가에 따라 (111) 우선배향성에서 (100) 우선배향성으로 변화했다²¹⁾. 본 연구에서는 우선 Cu나 Zn가 첨가된 Mn-Zn 페라이트 박막의 우선배향성이 기판온도 변화에 어떠한 온도의존성을 가지는지를 살펴보고, 이들 박막의 자기 및 전기적 특성 변화를 고찰하였다.

2. 실험방법

DuoPIGatron 타입의 단일 이온원을 사용하는 이온빔 스퍼터링법으로 Mn-Zn 페라이트 박막을 증착시켰다. 타겟으로는 Bridgmann 방식으로 성장시킨 직경 2인치 의 Mn-Zn 페라이트 단결정(Fe_2O_3 : 52.5 mol%, MnO: 28.5 mol%, ZnO: 19 mol%) 위에 Cu 또는 Zn 금속선을

부착한 모자이크 타겟트를 사용하였다. 기판으로는 1000 Å 정도의 SiO_2 산화막을 갖는 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며 이 웨이퍼를 원하는 크기로 자른 후 TCE, 아세톤, 알콜 속에 5분간 초음파 세척 후 질소가스로 건조시켜 사용하였다. 이온빔 스퍼터링법을 이용한 페라이트 박막의 증착에 관한 자세한 내용은 우리의 다른 보고들에 잘 나타나 있다¹⁸⁻²²⁾.

박막의 두께는 박막의 일부분을 묶은 염산으로 에칭해 내고 계단을 만든 후 Tencor 사의 α -step을 사용하여 측정하였다. 박막의 결정구조는 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 정도의 시편을 준비하여 RIGAKU 사의 X-ray diffractometer로 분석하였다. 이때 사용한 X-ray는 $Cu-K\alpha$ line($\lambda=1.5405 \text{ \AA}$)이었다. 박막의 자기적 성질은 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 사용하여 분석하였다. 먼저 10 kOe의 자장을 가하여 포화자화시킨 후, 1 kOe까지 가해지는 자장을 500 Oe 씩 감소시키면서 측정하였다. 1 kOe에서 -1 kOe까지는 50 Oe 씩, -10 kOe까지 500 Oe 씩 변화시키면서 자화를 측정하였다. 가해지는 자장이 -10 kOe에 이르면 앞의 과정을 반대로 하여 박막의 자화를 측정하여 이력곡선을 얻었다. 페라이트 박막의 자화정도가 금속자성박막에 비해 낮으므로 측정은 100회 반복하여 평균치를 구하였다.

박막의 저항을 구하기 위하여 2 probe 복소 임피던스법을 이용하였다. 전극제조를 위해 Fig. 1에 나타난 바와 같이 박막과 ohmic contact을 이루는 Al을 evaporation 법으로 입힌 뒤 In으로 전선을 연결하였다. 측정은 HP 4192A Low Frequency Impedance Analyzer를 사용하였다. 측정 주파수 범위는 5 Hz부터 13 MHz로 log sweep 하였으며 인가된 진압의 크기(OSL: Oscillating Level)는 100 mV-1 V로 조절하였다. 측정시 GPIB board를 이용하여 컴퓨터로 제어하였으며, 임피던스 결과는 Boukamp의 'Equivcrt' NLLS fitting 프로그램으로 분석하

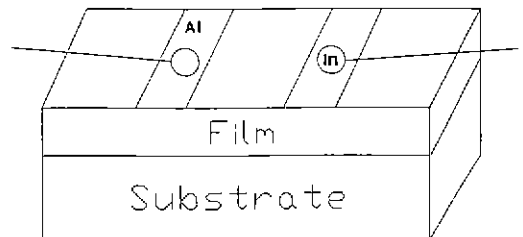


Fig. 1. Sample-electrode assembly for two-probe impedance measurement.

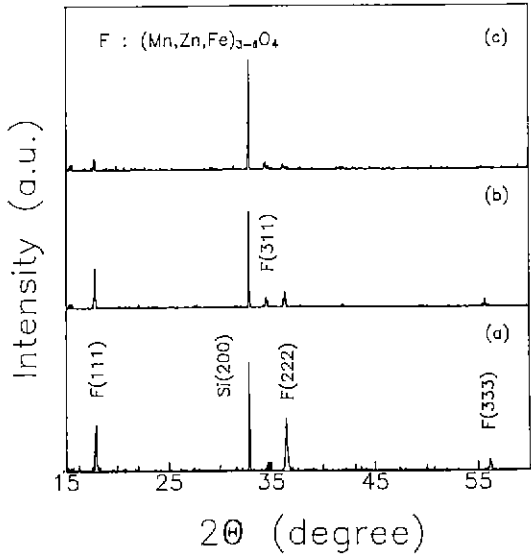


Fig. 2. Variation of XRD patterns of the Cu added Mn-Zn ferrite thin films as a function of the substrate temperature: a) 350, b) 250, c) 200°C. (Deposition condition: thickness ~ 1500 Å, B.C.D=2.1 mA/cm², E.V.=2.1 kV, Po₂=0.2 mTorr, P_{in}=0.7 mTorr)

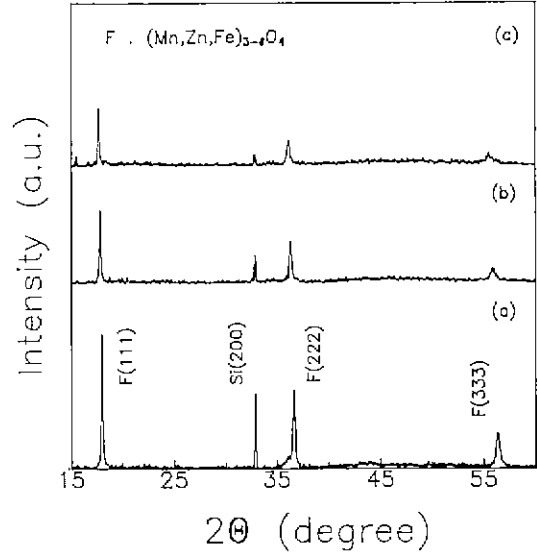


Fig. 3. Variation of XRD patterns of the Zn added Mn-Zn ferrite thin films as a function of the substrate temperature: a) 350, b) 275, c) 200°C. (Deposition condition: thickness ~ 1500 Å, B.C.D=2.1 mA/cm², E.V.=2.1 kV, Po₂=0.2 mTorr, P_{in}=0.7 mTorr)

었다. 또한 측정결과의 확인을 위해 van der Pauw 법을 사용하여 저항을 구하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 첨가제로 Cu를 사용하고 산소분압을 0.2 mTorr로 유지시켰을 때 증착되는 박막의 XRD 패턴을 증착온도에 따라 도시한 것이다. 기판온도가 가장 높은 350°C 에서도 spinel 상의 (111) 우선배향성외에 (311) 피크가 관찰되며 기판온도가 낮아짐에 따라 전체적인 XRD 피크는 감소하지만 I₁₁₁/I₂₂₂ 값은 증가하는 경향을 보인다. 페라이트 박막의 우선배향성에 관한 선행된 연구¹⁸⁻²⁰⁾에 의하면 페라이트의 (111)면이 최소 표면에너지면이므로 페라이트 박막은 비정질 기판 위에서 주로 (111) 우선배향성을 가진다. (311) 피크의 출현은 Cu 금속의 산화물들이 스피넬 구조와는 다른 원자배열 방식을 가져서 페라이트 박막이 초기 핵생성시에 무질서한 배향성을 가지도록 유도하기 때문이라고 생각된다. 단 결정 페라이트 위에 부착된 Cu 금속선은 단결정 페라이트에 비하여 높은 sputtering yield를 가지므로 스퍼터링 초기에 우선적으로 스퍼터링 된다. 이러한 금속이

온들은 핵 생성 초기에 기판 위에서 산소와 반응하여 Cu가 과다로 존재하는 산화물을 형성하는데, CuO와 Cu₂O가 각각 단사정 및 정방정의 결정구조를 가지므로 주로 Cu 산화물들로 이루어지는 초기핵들은 스피넬 구조와는 다른 우선적인 원자배열방식을 가질 것으로 생각된다²⁰⁾. 이러한 경향은 기판온도의 감소에 기인하는 과포화도의 증가와 더불어 박막의 초기 핵배향을 무질서하게 유도하므로 기판온도의 감소에 따라 I₁₁₁/I₂₂₂ 값은 증가하는 경향을 보인다.

Fig. 3은 첨가제로 Zn를 사용하고 산소분압을 0.2 mTorr로 유지시켰을 때 증착되는 박막의 XRD 패턴을 증착온도에 따라 도시한 것이다. 이 경우는 같은 온도에서 Cu를 첨가하여 증착한 박막들보다 (111) 우선배향성이 뛰어나고 XRD 피크의 강도도 훨씬 높은 결과를 보이는데, 이것은 Zn 양의 증가에 따라 (Mn, Zn, Fe)_{3-δ}/O₄ 박막의 녹는점이 낮아져 부착원자들의 표면이동도가 높아지는 효과와 ZnO의 (0002) 우선배향성과 페라이트 (111) 우선배향성의 유사한 원자배열 방식에 의한 결정화의 용이성에 기인한다고 생각된다²⁰⁾.

Fig. 4는 첨가제로 Zn를 사용하여 증착한 두께 1500 Å의 페라이트 박막에 대한 수평(∥) 및 수직(⊥) 방향의

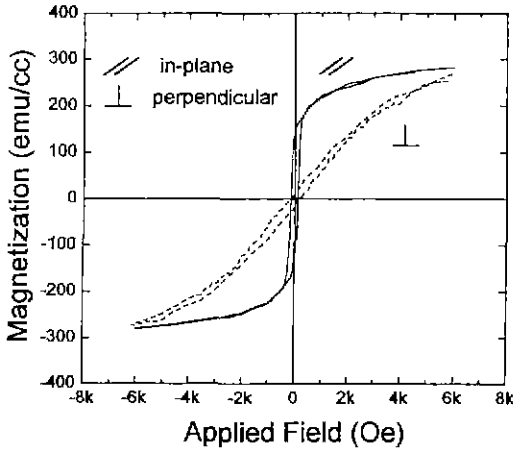


Fig. 4. M-H hysteresis loops of the Mn-Zn ferrite thin films with Zn addition measured for (a) in-plane (//) and (b) perpendicular (⊥) directions to the applied field.

자화이력곡선을 나타낸다. 수평 방향에 대한 자화이력 곡선이 수직방향의 그것보다 높은 잔류자화와 remanent squareness(SQ) 값을 보이는 것은 박막면에 평행한 방향으로 자화용이축(magnetization easy axis)이 존재하기 때문이다. 자화용이축으로 자장을 가해 주는 경우에는 자벽의 이동에 의해 자화가 쉽게 일어나므로 자화이력 곡선은 사각형에 가까운 모양을 나타내지만, 자화곡률 축으로 자장을 가해 주면 자화는 주로 자구의 회전에 의해 일어나므로 자화이력곡선은 직선에 가까운 형태를 띠게 된다²⁴⁾.

(111) 우선배향성을 가지는 스피넬계 페라이트 박막의 자기이방성 에너지 E는 결정학적 자기이방성 에너지 E_k, 자기탄성 에너지 E_σ, 그리고 형태이방성 에너지 E_σ로 구성되며 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned}
 E &= E_k + E_{\sigma} + E_{\psi} \\
 &= \frac{K_1}{12} [3(3\cos^2\theta - 1)^2 \\
 &\quad - 4\cos\theta(\cos\theta - \sqrt{2} \sin\theta \sin\psi) \\
 &\quad \times \{(\sin\theta \sin\psi + \sqrt{2} \cos\theta)^2 - 3\sin^2\theta \cos^2\psi\}] \\
 &\quad + \frac{3}{2} \lambda_{111} \cdot \sigma \cdot \cos^2\theta + 2\pi M_s^2 \cos^2\theta
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 λ₁₁₁은 <111> 방향으로의 자왜상수(magnetostriiction coefficient), σ는 박막에 걸리는 응력, M_s는 포화자화, 그리고 K₁은 결정학적 자기이방성 상수를 의미하며 θ와 ψ는 박막면 상에서 Fig. 5와 같이 정의된 각

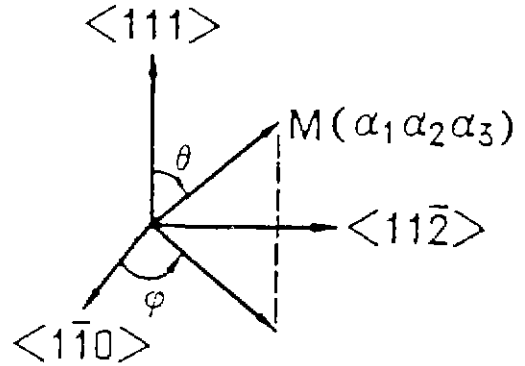


Fig. 5. Relationship between crystal orientation and magnetization vector in the equation (1).

들이다.

자기이방성 에너지 E를 최소화하기 위해서는 ∂E/∂θ=0, ∂E/∂ψ=0를 만족해야 하므로, 이 식들을 풀어서 구한 해로부터 <111> 우선배향된 박막의 기판에 수직된 방향으로의 자기이방성 상수 K_u는 다음과 같이 정의될 수 있다^{25,26)}.

$$K_u = -\frac{K_1}{12} - \frac{3}{2} \lambda_{111} \sigma - 2\pi M_s^2 \tag{2}$$

결정학적 자기이방성만을 고려할 경우, Mn_{0.5}Zn_{0.12}Fe_{2.38}O₄의 결정학적 자기이방성 상수 K₁이 -0.2×10⁴ erg/cm³으로 작은 음의 값을 가지므로²⁷⁾ 이와 유사한 조성을 가지는 대부분의 Mn-Zn 페라이트 박막에서는 <111> 방향으로 자화용이축이 형성된다. 따라서 (111) 우선배향성을 가지는 Mn-Zn 페라이트 박막은 박막면에 평행한 방향으로 자화용이축을 가질 가능성이 크다. (111)면과 (11̄1)면이 70.5°를 이루므로 (111) 우선 배향된 박막에서는 <11̄1> 방향이 박막면에 평행한 방향과 19.5°의 작은 각을 이루고 있기 때문이다. 한편, 자기 탄성에너지에 의한 응력이방성은 박막면에 평행한 방향으로 자화용이축이 형성되는 것을 방해한다. Mn_{0.6}Zn_{0.1}Fe_{2.1}O₄의 자왜 상수는 λ₁₁₁=14×10⁻⁶으로²⁷⁾ 양의 값을 가지므로 Mn-Zn 페라이트 박막에 압축응력이 걸릴 경우, 식 (2)의 두번째 항은 양의 값을 가지게 된다. 따라서 응력이방성만을 고려할 경우, 주로 압축응력을 가지는 스파터링에 의해서 증착된 (111) 우선 배향된 박막에는 박막면에 수직된 방향으로 자화용이축이 형성된다.

그러나 앞서 언급한 바와 같이 Mn-Zn 페라이트의 결정학적 자기이방성 상수는 매우 작은 값을 가지므로

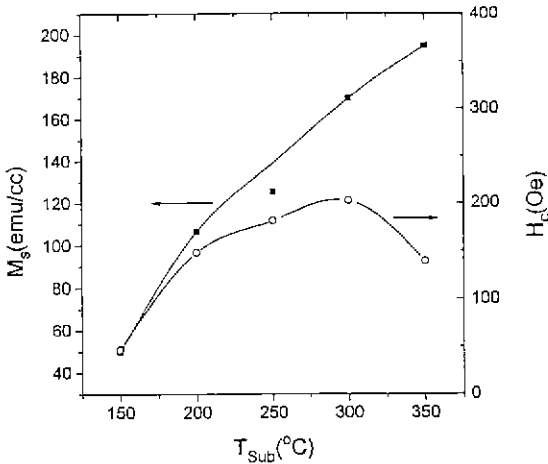


Fig. 6. Variation of saturation magnetization (closed square) and coercive force (open circle) of the Cu-added Mn-Zn ferrite thin films as a function of the substrate temperature. (Deposition condition; Ar pressure: 0.5 mTorr, O₂ pressure: 0.2 mTorr, extraction voltage: 2.1 kV, beam current density: 2.1 mA/cm²)

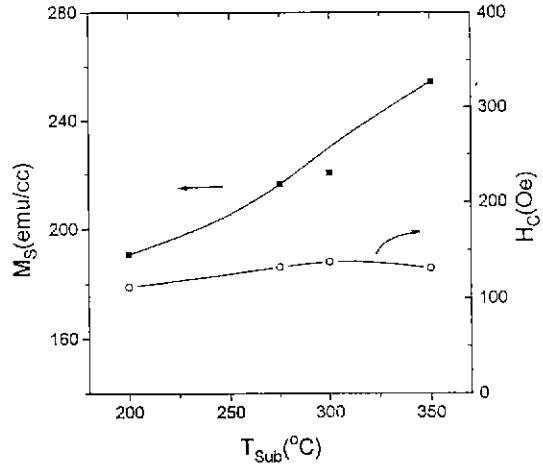


Fig. 7. Variation of saturation magnetization (closed square) and coercive force (open circle) of the Zn-added Mn-Zn ferrite thin films as a function of the substrate temperature. (Deposition condition; Ar pressure: 0.5 mTorr, O₂ pressure: 0.2 mTorr, extraction voltage: 2.1 kV, beam current density: 2.1 mA/cm²)

실제 박막의 자기이방성에 미치는 영향은 매우 적을 것으로 생각된다. 그러므로 일반적으로 스퍼터링에 의해 증착된 박막면에 수백 MPa의 압축응력이 걸림에도 불구하고, 본 연구에서 증착된 Mn-Zn 페라이트 박막들이 수직 자기이방성을 나타내지 못하고 수평 자기이방성을 나타내는 현상은 식 (2)의 세번째 항인 박막의 형태이방성에 기인함을 알 수 있다. 박막의 형태이방성은 박막면에 수직인 방향으로의 큰 반자장에 기인하는 것으로, 그 크기가 포화자화의 제곱에 비례하는 큰 값을 가지므로 대부분의 자성박막이 수평 자기이방성을 가지도록 유도한다.

Fig. 6에는 Cu가 첨가된 박막의 기판온도변화에 따른 포화자화와 보자력의 변화가 나타나 있다. 기판온도가 증가하면서 포화자화는 증가하고 보자력은 증가하다가 감소하는 경향을 보인다. 포화자화의 증가는 기판온도가 증가하면서 박막의 결정화가 향상되고 입자의 크기 또한 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 150°C 에서 증착된 박막은 비정질에 가까운 구조를 가지므로 낮은 포화자화값을 가지며 이로 인해 보자력 또한 낮은 값을 보인다. 기판온도 증가에 따라 박막의 입자 크기가 증가하고 결정성이 향상되어 포화자화가 증가하면서 보자력도 점차적으로 증가하지만, 350°C 정도의 고온 영역에서는 입자의 크기가 더욱 증가하여 다자구 입자가 형성되고

박막내의 결함 또한 크게 감소하므로 기판온도가 증가함에 따라 보자력은 감소하는 것으로 생각된다. 이와 같은 포화자화 및 보자력의 온도 의존성은 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 증착한 Ni-Zn-Cu 페라이트 박막에서도 관찰할 수 있었다²⁸⁾.

박막에 Cu가 첨가되면 전체적인 포화자화값은 Cu가 첨가되지 않은 박막보다 낮은 값을 보인다. Cu는 자기모멘트가 1 μ_B이고 Mn-Zn 페라이트에 고용될 때 우선적으로 8면체자리에 들어간다. Mn-Zn 페라이트의 자성은 8면체자리 금속이온의 자기모멘트에서 4면체자리 금속이온의 자기모멘트 차이로 주어지므로 자기모멘트가 작은 Cu가 8면체자리에 치환되면서 8면체자리의 자기모멘트를 낮추는 역할을 하고 4면체자리의 자기모멘트는 변화가 없으므로 전체적인 차이는 줄어들어 증착된 페라이트 박막의 포화자화는 줄어든다.

Fig. 7에는 Zn가 첨가된 Mn-Zn 페라이트 박막의 기판온도에 따른 자기적 성질 변화가 나타나 있다. Cu를 첨가한 경우와 마찬가지로 포화자화값은 기판온도에 비례해서 증가하고 보자력은 최대값을 가진다. Zn가 첨가된 박막의 포화자화값이 200°C 이상에서 거의 200 emu/cc 이상의 높은 포화자화를 보이는 것은 200°C 에서도 박막의 결정화가 잘 이루어지기 때문이다(Fig. 3). 그리고 같은 온도에서 증착된 Cu가 첨가된 박막보다도 높은

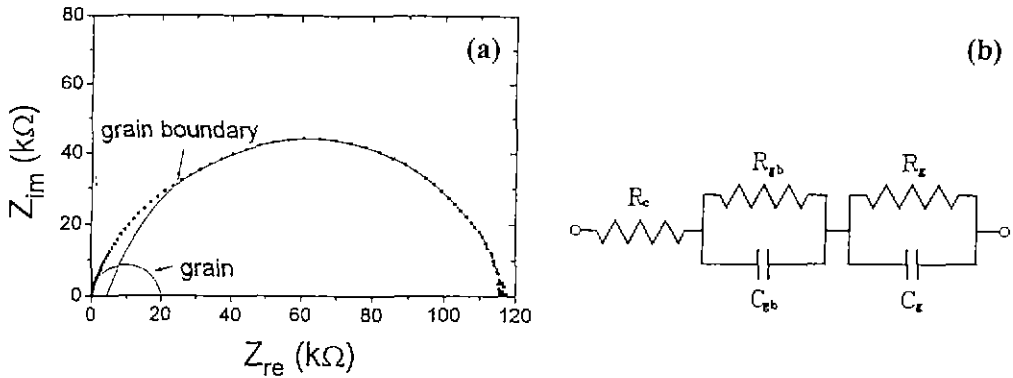


Fig. 8. (a) Typical complex-impedance dispersion for the as-deposited film, and (b) an equivalent circuit for the film, which is parallel combination of three lumped circuits, r_c for contact resistance, $r_{gb}-c_{gb}$ for grain boundary, and r_g-c_g for grain.

포화저항을 보이는 것은, Zn가 페라이트에 첨가되면 4면체자리에 치환되어 4면체자리의 자기모멘트를 낮춰 주기 때문에 전체적인 포화저항의 향상이 일어나기 때문이다. 기판온도가 상승하여도 보자력이 크게 변하지 않는 것은 기판온도 200°C에서도 결정화가 잘 되므로 박막의 결함이 적고 입자의 크기도 꽤 커서 이미 다자구의 입자들로 이루어진 박막들이 형성되었기 때문인 것으로 생각된다.

Fig. 8(a)는 증착된 박막의 전형적인 복소 임피던스 곡선을 나타내고, Fig. 8(b)는 이것의 등가회로를 나타내는데, 여기서 r_c 는 접촉저항, $r_{gb}-c_{gb}$ 는 입계에 의한 저항과 캐패시턴스, r_g-c_g 는 입자에 의한 저항과 캐패시턴스를 나타내고 있다. 이 그림은 입계에 전기적 신호에 의한 하나의 큰 반원과 입자의 신호에 의한 고주파영역(왼쪽 부분)에서의 약간의 편차를 나타내는데, 여기서 측정된 접촉저항은 약 150 Ω이다.

입자의 작은 전기적 신호는 그 크기가 작은 것에 기인한다. 입자의 크기가 어떤 임계값보다 작을 때, 입자는 모든 전자를 잃고 입계 상태가 되어 변형된 입계층이 입자의 중심까지 이르게 된다. 이 경우 입계가 전체저항을 지배하기 때문에 복소임피던스 그림에서 하나의 반원이 나타난다²⁹⁾. 여기에 나타내지는 않았지만, 스피넬 페라이트 박막의 임피던스 측정을 통하여 입자크기가 커짐에 따라 입자에 의한 작은 반원이 더 뚜렷해짐을 확인할 수 있었다.

Fig. 9에는 기판온도에 따른 박막의 비저항 변화를 나타내었다. 임피던스 신호를 복소평면에 나타낼 때, 실축과 반원과의 교점은 저항과 일치한다. 따라서 박막의 저항은 이 값을 읽어 구하였고, 아울러 van der Pauw

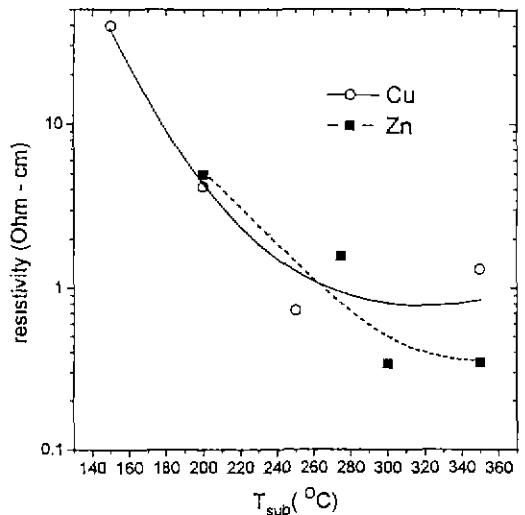


Fig. 9. Variation of resistivity of the Cu and Zn added Mn-Zn ferrite thin films as a function of substrate temperature. (Deposition condition; Ar pressure: 0.5 mTorr, O₂ pressure: 0.2 mTorr, extraction voltage: 2.1 kV, beam current density: 2.1 mA/cm²)

법으로 저항을 구하여 이를 확인하였다. 기판온도가 증가함에 따라 페라이트 박막의 비저항이 감소하는 현상 또한 박막의 결정화와 입자성장에 그 원인이 있다고 생각된다. 박막이 비정질로부터 결정화되어 가면 전하 나르케들의 평균자유이동거리(mean free path)가 증가하므로 박막의 비저항은 감소한다. 그리고 기판온도가 증가하여 입자가 커지면 입계의 양이 줄어들게 되어 박막

전체 저항에 미치는 입계의 영향이 줄어들고 더 낮은 저항을 가지는 입자의 영향이 커지므로 박막의 비저항은 감소한다. 이러한 비저항의 기판온도 의존성은 Hoshi¹⁰⁾ 등에 의해서도 보고되었다. 그들에 의하면 facing target sputtering 법에 의해 증착된 Fe₃O₄ 박막의 비저항은 기판온도가 증가하면서 입자크기의 증가로 인해 감소하게 된다.

4. 결 론

Cu가 첨가된 Mn-Zn 페라이트 박막은 약한 (311) 배향성이 혼합된 (111) 우선배향성을 나타낸 반면, Zn가 첨가된 박막은 강한 (111) 우선배향성만을 나타내었다. Cu나 Zn가 첨가된 박막의 포화자화는 기판온도 증가에 따른 입자크기의 증가와 결정성 향상으로 인해 증가하였다. 이로 인해서 보자력은 기판온도가 증가할수록 증가하는 경향을 보이지만, 어느 정도 이상에서는 온도의 증가에 따른 박막내의 결함 감소와 다자자 입자의 형성으로 보자력은 약간 감소한다. 복소 임피던스법으로 측정된 박막의 비저항은 기판온도가 증가하면서 박막의 결정화도가 향상되고 입자크기가 증가함에 따라 입계의 양이 줄어들기 때문에 감소하는 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 1994년도 교육부 신소재분야 연구비 지원에 의해 이루어졌으므로, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. E.C. Snelling, *Soft Ferrite*, Butterworth, 1988.
2. Gabriel Suran and Alain Heurtel, "Preparation and microstructural properties of NiFe₂O₄ thin polycrystalline films," *J. Appl. Phys.* **43**, 536 (1972).
3. E. Banks, N.H. Riederman, H.W. Schleuning, and L.M. Silber, "Preparation and properties of thin ferrite films," *J. Appl. Phys.* **32S**(3), 44S (1961).
4. M. Abe, T. Itoh, Y. Tamaura, and M. Gomi, "Ferrite-organic multilayer film for microwave monolithic integrate circuits prepared by ferrite plating based on spray-spin-coating method," *J. Appl. Phys.* **63**, 3774 (1988).
5. S.H. Talisa and K.C. Yoo, M. Abe and T. Itoh, "FMR studies of spin-spray Ni-Zn ferrite films," *J. Appl. Phys.* **64**, 5819 (1988).
6. G.R. Pulliam, "Chemical vapor growth of single-crystal magnetic oxide films," *J. Appl. Phys.* **38**, 1120 (1967).
7. A.G. Fitzgerald, "An investigation of the growth of nickel ferrite films on magnesium oxide substrates," *J. Mater. Sci.* **22**, 1887 (1987).
8. Hideaki Itoh, Tadashi Takeda and Shigeharu Naka, "Preparation of Ni and Ni-Zn ferrite films by thermal decomposition of metal acetylacetonates," *J. Mater. Sci.* **21**, 3677 (1986).
9. R.J. Brook, W.D. Kingery, "Nickel ferrite thin films: microstructure and magnetic properties," *J. Appl. Phys.* **38**, 3589 (1967).
10. 공선식, RF Magnetron Sputtering에 의한 Ni-Zn-Cu 페라이트 박막 증착과 물성 연구, 석사학위 논문, 서울대, 1992.
11. K. Matumoto, S. Nakagawa and M. Naoe, "Preparation of Mn-Zn ferrite thin films with good crystallinity at substrate temperature of 100°C," *Preceedings ICF-5*, 987, India, p545.
12. Sushama Joshi, Rashmi Nawathey, V.N. Koimkar, V.P. Godbole, S.M. Chaudhari and S.B. Ogate, "Pulsed laser deposition of iron oxide and ferrite films," *J. Appl. Phys.* **64**, 5647 (1988).
13. S.B. Ogate and Rashmi Nawathey, "Deposition of zinc ferrite (Zn_xFe_{3-x}O₄) films by pulsed laser evaporation process," *J. Appl. Phys.* **65**, 1367 (1989).
14. Rashmi Nawathey, R.D. Vispute, S.M. Chaudhari, S.M. Kanetkar and S.B. Ogate, "Pulsed laser-induced vaporization from the surface of a binary oxide (zinc ferrite) and its implications for synthesis of thin films," *J. Appl. Phys.* **65**, 3197 (1989).
15. William Wade, Thomas Collins, W.W. Malinofsky and William Skudera, "Chemically deposited thin ferrite films," *J. Appl. Phys.* **34**, 1219 (1963).
16. F.R. Gleason, Jr and L.R. Watson, "Ferrite films prepared by pyrohydrolytic deposition," *J. Appl. Phys.* **34**, 1217 (1963).
17. P.J. Martin, "Ion-based methods for optical thin film deposition," *J. Mat. Sci.* **21**, 1 (1986).
18. Hae Seok Cho, Sang Ki Ha, and Hyeong Joon Kim, "Effects of oxygen partial pressure on the crystallographic structure of the Mn-Zn ferrite thin films deposited by ion beam sputtering," *Surface and Coatings Technol.* (accepted, 1994).
19. Hae Seok Cho, Sang Ki Ha, Min Hong Kim, and Hyeong Joon Kim, "(Mn, Zn, Fe)_{1-x}O thin films showing ferrimagnetic property deposited by ion beam sputtering," *J. Mater. Res.* (accepted, 1994).
20. Hae Seok Cho and Hyeong Joon Kim, "Effects of additives on the preferred orientation of Mn-Zn Ferrite thin films deposited by ion beam sputtering," *Appl. Phys. Lett.* (accepted, 1994).
21. Hae Seok Cho and Hyeong Joon Kim, "Thickness de-

- pendence of the preferred orientation of Mn-Zn ferrite thin films deposited by ion beam sputtering," submitted to *J. Appl Phys.* for publication.
22. H.S. Cho, S.K. Ha, D.H. Lee, K.D. Yang, S.K. Hong, H.J. Kim, K.Y. Kim, and B.D. Yoo, "Characteristics in the deposition of Mn-Zn ferrite thin films by ion beam sputtering," *Kor. J. Mater. Res.* (accepted, 1994).
 23. Hae Seok Cho, Min Hong Kim, and Hyeong Joon Kim, "Preferred orientation and microstructure of Ni-Zn-Cu ferrite thin films deposited by rf magnetron sputtering," *J. Mater. Res.* **9**, 2425 (1994).
 24. Ronald F. Soohoo, *Magnetic Thin Films*, edited by Fredrick Seitz (Harper & Row, 1965).
 25. S.N. Okuno, S. Hashimoto, and K. Inomata, "Preferred crystal orientation of cobalt ferrite thin films induced by ion bombardment during deposition," *J. Appl Phys.* **71**, 5926 (1992); "Cobalt ferrite thin films crystallized by Ar-ion bombardment during deposition," in *Ferrites*, edited by T. Yamaguchi and M. Abe (Proceedings ICF-6, Tokyo, 1992) pp. 417-420.
 26. J.W.D. Martens and W.L. Peeters, "Anisotropy in cobalt-ferrite thin films," *J Magn Magn. Mater.* **61**, 21 (1986).
 27. S. Chikazumi and S.H. Charap, *Physics of Magnetism*, John Wiley & Sons Inc. 1964.
 28. S.S. Kong, H.S. Cho, H.J. Kim, and K.Y. Kim, "Effects of the substrate temperature on the Properties of Ni-Zn-Cu Ferrite Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering," *J Kor. Ceram Soc.* **29**, 383 (1992).
 29. H.Y. Lee and L.C. Burton, "Effect of grain size on the grain boundary resistance of undoped barium titanate ceramics," *Proceedings of the 8th IEEE ISAF*, Greenville, 98 (1992).
 30. Y. Hoshi, H. Koshimizu, M. Naoe and S. Yamanaka, "High rate deposition of magnetite films by reactive sputtering from two facing targets," ICF-3, Tokyo 592 (1980).