

RF Magnetron Sputtering에 의해 증착된 Ni-Zn-Cu Ferrite 박막의 물성에 미치는 기판온도의 영향

공선식 · 조해석 · 김형준 · 김경용*

서울대학교 무기재료공학과

*한국과학기술연구원 세라믹스연구단

(1992년 4월 20일 접수)

Effects of the Substrate Temperature on the Properties of Ni-Zn-Cu Ferrite Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering

Sun Sik Kong, Hae Seok Cho, Hyeong Joon Kim and Kyung Yong Kim*

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

*Division of Ceramics, Korea Institute of Science and Technology

(Received April 20, 1992)

요 약

RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 Ni-Zn-Cu 페라이트 박막을 $\text{SiO}_2(1000\sim 3000\text{\AA})/\text{Si}(100)$ 기판위에 증착하였다. 타겟으로는 Ni-Zn-Cu 페라이트 소결체를 사용하였고, 스퍼터링 가스로는 아르곤 가스를 사용하였다. 기판 온도를 변화시키면서 증착한 박막의 조성은 EPMA로 분석한 결과 타겟의 조성(Fe : 65.8 at%, Ni : 12.7 at%, Cu : 6.7 at%, Zn : 14.8 at%)과 거의 일치하였다. 기판을 가열하지 않았을 때 증착된 박막은 비정질 박막이었으며, 기판을 200°C 이상으로 가열했을 때 결정성을 나타내는 페라이트 박막을 얻을 수 있었다. 기판 온도를 변화시키면서 증착한 박막의 자기적 특성을 조사한 결과, 250°C까지는 결정화와 입자성장에 의한 포화자화, 잔류자화, 보자력의 증가 현상이 나타났으며, 그 이상에서는 입자성장 및 응력완화로 인해 포화자화, 잔류자화값은 약간 증가하지만 보자력은 감소하는 양상을 보인다. 결정화가 잘 되지 못한 박막을 급속열처리한 결과 보자력이 증가하였으며 결정화가 잘된 박막은 열처리 후 보자력이 감소하였는데, 이것 역시 결정화와 입자성장, 응력의 감소에 기인한다고 생각된다.

ABSTRACT

We investigated the effect of substrate temperature on the properties of the Ni-Zn-Cu ferrite thin films deposited on $\text{SiO}_2(1000\sim 3000\text{\AA})/\text{Si}(100)$ substrate at various conditions by rf magnetron sputtering. A disk-type Ni-Zn-Cu ferrite sintered by conventional ceramic process and argon gas were used as a target and a sputtering gas, respectively. The compositions of the thin films measured by EPMA were similar to target composition (Fe: 65.8 at%, Ni: 12.7 at%, Cu: 6.7 at%, Zn: 14.8 at%) irrespective of substrate temperature. Amorphous thin films were deposited when substrate was not intentionally heated, but the films came to crystallize with increasing substrate temperature, and crystalline thin films were deposited at substrate temperature above 200°C. Below 250°C saturation magnetization (M_s), remanence (M_r) and coercivity (H_c) of the ferrite thin film increased with the substrate temperature due to the increase of grain size and the improvement of crystallinity. And above 250°C, M_s , M_r increased slightly, but H_c decreased with the substrate temperature due to grain growth. After films were post-annealed, H_c of the amorphous thin films increased due to crystallization, whereas that of the crystalline thin films decreased because of grain growth and stress release.

1. 서 론

페라이트는 금속 자성 재료에 비해 자기적 성질면에서는 큰 장점이 없지만, 높은 저항, 좋은 자기적 안정성을 갖고 있으므로 고주파용 재료로 응용되고 있다. 페라이트는 오랫동안 많은 연구자들에 의해서 연구되어 왔으나 페라이트의 박막화에 관한 연구는 응용범위의 한계성으로 인해 큰 진전을 보이지 못했다.

그러나, 최근 들어 고밀도 기록소자, 휴대용 무전기나 송신 수신장비의 요구가 증가하면서 소형의 부피를 갖는 재료에 대한 요구가 한층 높아짐에 따라 페라이트 박막의 연구가 점차로 활기를 띄어가고 있다. 페라이트 박막은 자기 기록 매체, 자기 헤드, 고주파용 인덕터, circulator, rotator, bubble 기록매체 등으로 그 응용이 광범위하게 이루어지고 있다.

페라이트 박막을 얻기 위한 방법은 여러가지가 시도되었다. FTS(Facing Target Sputtering)¹²⁾, CVD³⁻⁵⁾, rf 스퍼터링^{6,7)}, 반응성 스퍼터링⁸⁾, spin spray⁹⁾, 금속박막 증착 후 산화¹⁰⁾, hydrolytic deposition¹¹⁾ 등의 방법으로 페라이트 박막이 만들어졌으나 페라이트 박막의 물성에 관한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 장비가 간단하고 비교적 쉽게 페라이트 박막을 형성할 수 있으리라고 생각되는 rf magnetron 스퍼터링법을 이용해서 Ni-Zn-Cu 페라이트 박막을 증착하였다. 기판의 온도를 변화시키면서 박막을 증착한 후 XRD, EPMA, SEM, VSM 등을 이용하여 박막의 물성을 분석함으로써 기판의 온도가 박막의 물성에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 rf 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하였다. 스퍼터링 가스로는 아르곤 가스만을 사용하였고, 타겟으로는 Ni-Zn-Cu 페라이트 소결체를 사용하였다.

Table 1. The Deposition Conditions of Ferrite Thin Films

substrate	SiO ₂ (1000~3000Å) Si(100) wafer
T-S Distance	3 cm
RF power	60 W
Ar pressure	80 mTorr
Substrate temperature	150~300°C
Rotation speed	1 rpm

기판으로는 박막의 결정성에 미치는 영향이 적고 반도체공정에 응용가능한 표면 평활도가 좋은 SiO₂(1000~3000Å)/Si(100) 웨이퍼를 사용하였다. 2 cm×2 cm 크기로 기판을 절단한 뒤 TCE, 아세톤, 알콜, 이온제거수에서 5분간 초음파세척기에서 세척하여 사용하였다.

본 실험에서는 기판온도를 변화시키면서 박막을 증착하였고, 증착조건은 Table 1에 나타내었다. 기판온도에 따르는 박막증착속도의 변화는 두께측정 오차범위 내에 존재할 정도로 적었으며 실험에 사용된 박막의 두께는 약 4000Å이었다.

기판온도가 박막의 물성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 증착된 박막을 열처리 하였으며, 박막의 증착 후 열처리는 공기중에서 급속열처리장치 및 로(furnace)를 사용하여 열처리하였다. 급속열처리는 500~700°C 영역에서 90초간, 일반적인 열처리는 600~900°C 영역에서 30분간 행하였다.

기판온도를 변화시키면서 증착된 박막과 후열처리를 거친 박막은 XRD와 SEM을 이용하여 표면 및 결정구조를 분석하고, EPMA를 이용하여 조성을 분석하였으며 VSM 측정기를 통하여 자기적 성질을 조사하였다. VSM 측정시에는 6 mm×6 mm 크기의 시편을 사용하였으며 박막면에 수평(//) 혹은 수직(⊥)한 방향으로 자장을 가하면서 자기적 특성을 각각 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기판온도 변화에 따른 결정구조 변화

기판온도 변화에 따른 박막의 결정성 변화를 보기 위해

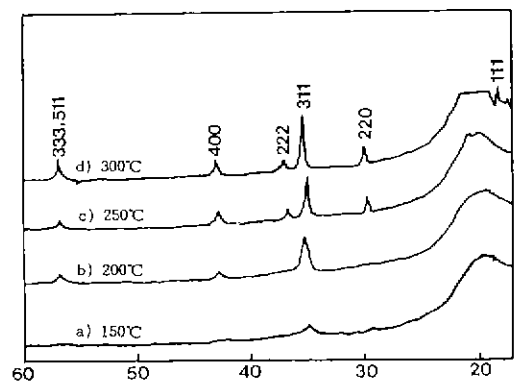


Fig. 1. Variation of XRD patterns as a function of the substrate temperature: (power: 60 W, T-S distance: 3 cm, Ar pressure: 80 mTorr)
a) 150°C, b) 200°C, c) 250°C, and d) 300°C

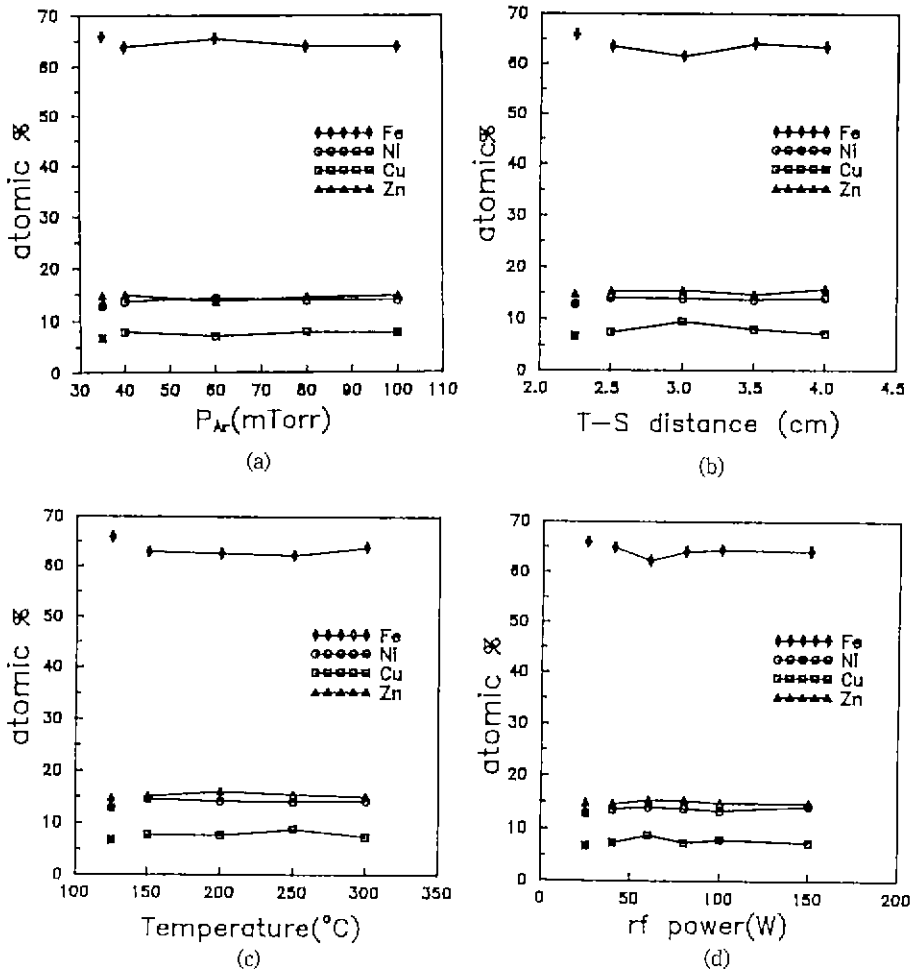


Fig. 2. Variation of composition as a function of a) Ar pressure (power: 60 W, sub. temp.: 250°C, T-S distance: 3 cm), b) T-S distance (power: 60 W, sub. temp.: 250°C, Ar pressure: 80 mTorr), c) temperature (power: 60 W, T-S distance: 3 cm, Ar pressure: 80 mTorr), and d) rf power (sub. temp.: 250°C, Ar pressure: 80 mTorr, T-S distance: 3 cm).

여러 기판온도에서 증착된 박막의 XRD 패턴을 Fig. 1에 나타내었다. 150°C에서는 결정질 박막에서 나타나는 XRD peak이 거의 보이지 않다가 200°C 이상의 기판온도가 되어야 비로소 결정성 peak이 나타나게 된다. 기판을 가열하지 않고 기판거리 3-5 cm, 아르곤 압력 1-120 mTorr, rf 전력 40-200 W의 범위에서 박막을 형성시킨 경우 모두 비정질 박막이 형성되었다. 기판온도가 낮으면, 부착원자들이 기판위에서 충분한 표면이동도(surface mobility)를 갖지 못하므로 결정화를 위해 필요한 결합을 이루지 못하기 때문에 비정질 박막이 형성된다. 그러나, 기판온도가 증가하면 부착원자들이 기판에 도달해서 갖게 되는 표면이동도가 크기 때문에 결정화를 위한 충분한

표면이동을 하므로 결정화된 박막이 얻어진다. 250°C 이상에서 증착된 박막은 결정성 bulk 페라이트에서 관찰되는 대부분의 peak을 나타내었다.

3.2. EPMA에 의한 박막의 조성 분석

EPMA를 이용하여 박막과 타겟트의 조성을 분석하고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 같은 부호는 동일한 구성원소를 나타내며 내부를 검체 칠한 것은 타겟트의 조성을 나타낸다. 부분적으로 조금씩의 변화를 보이는 부분도 있는데 이들은 EPMA의 감지오차내에 들 정도로 미세하다. 따라서, 박막의 조성이 타겟트의 조성 과 거의 같다는 것을 알 수 있다. 그러나, 일반적으로

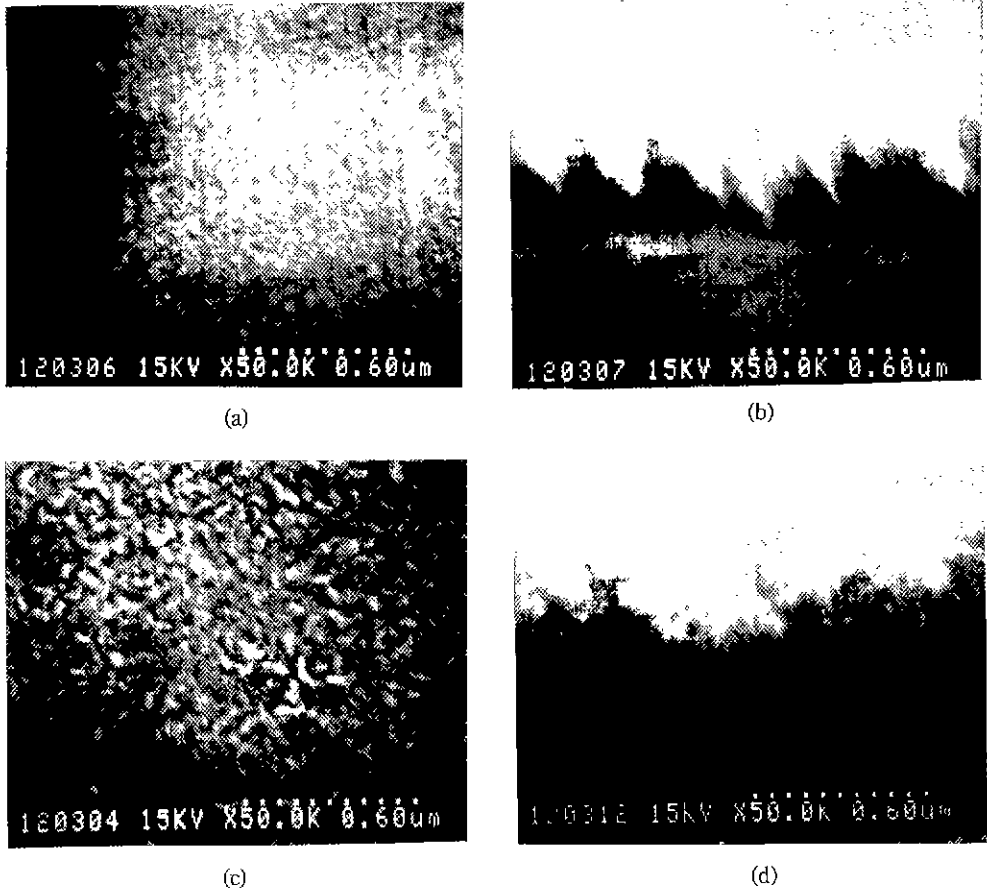


Fig. 3. Comparison of SEM image of thin films deposited at different temperatures: (power: 60 W, T-S distance: 3 cm, Ar pressure: 80 mTorr)
 a) Surface micrograph of the thin film deposited at 200°C, b) Cross sectional view of the thin film a),
 c) Surface micrograph of the thin film deposited at 300°C, and d) Cross section view of the thin film c).

스퍼터링으로 증착된 박막의 조성은 타겟트의 조성과 상당한 차이가 나는 경우가 많다. 본 실험에서 여러 스퍼터링 공정 조건에 대해서 타겟트와 유사한 박막의 조성을 얻을 수 있었던 이유는 사용한 Fe, Ni, Cu, Zn의 원자량이 유사하여 가스입자와의 산란정도가 크게 다르지 않으며, 또 기판온도가 비교적 낮아서 증기압의 차이에 의한 조성변화 등을 일으키지 않았기 때문으로 생각된다. 게다가, 낮은 rf 전력에서 스퍼터링하였기 때문에 스퍼터율의 차이에 의한 변화도 크게 나타나지 않았다고 생각된다.

3.3. 표면 및 단면 형상

기판온도가 200°C 및 300°C인 두 박막의 주사 전자

현미경으로 관찰한 표면과 단면 사진을 Fig. 3에 각각 나타내었다. 사진에서 볼 수 있는 바와 같이 기판 온도가 증가함에 따라서 박막의 입자크기가 증가하며, 저온에서 형성된 박막의 파단면은 주상모양인 반면에 고온에서 형성된 박막의 단면은 주상모양이 아니다. 이러한 현상은 Thornton의 structural zone model¹²⁾로서 잘 설명되어질 수 있다. 기판온도가 낮을 경우는 기판 표면에 도달한 부착원자들의 표면이동도가 작기 때문에 ‘그늘 효과’(shadowing effect)에 의해 주상으로 박막이 성장하는 반면에 기판 온도가 높을 경우는 이들의 확산에 의한 ‘재결정화’(recrystallization)에 의해 등방형으로 결정이 성장하게 된다.

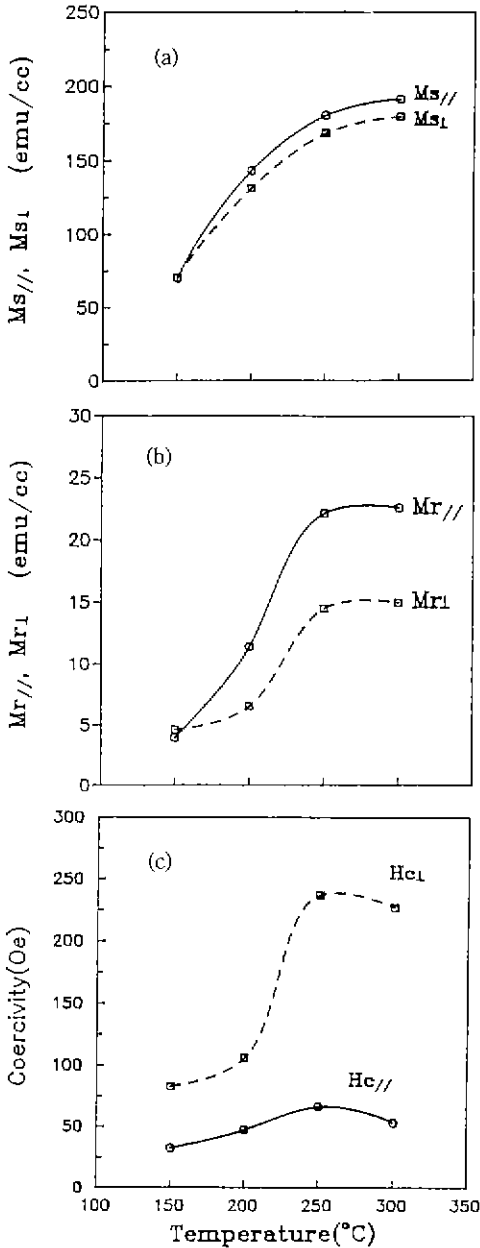


Fig. 4. Variation of saturation magnetization (a), remanence (b), and coercivity (c) as a function of the substrate temperature (power: 60 W, T-S distance: 3 cm, Ar pressure: 80 mTorr).

3.4. 기판온도 증가에 따른 박막의 자기적 특성 변화
 기판온도가 페라이트 박막의 자기적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 각 온도별로 증착시킨 박막의 자기적 특성을 VSM(vibrating sample magnetometer)

으로 측정하였다. Fig.4에 기판온도변화에 따른 포화자화, 잔류자화(remanence), 보자력 변화를 각각 나타내었다.

기판온도가 150°C로 낮을 경우, 앞서 설명한 바와 같이 결정질 XRD peak이 제대로 나타나지는 않았지만 Fig. 4에 의하면 약한 페리자성(ferrimagnetism)을 나타내는 자성박막이 증착됨을 알 수 있다. 기판온도가 낮을 경우는 기판위에서 부착원자들의 표면이동도가 낮기 때문에 페라이트 결정구조를 이루기가 어렵게 된다. 페라이트는 산소 이온을 매개로 한 초교환작용에 의해 자성을 나타내는 물질이므로 이와 같이 양이온과 음이온이 규칙적으로 정렬되지 못하는 비정질에 가까운 구조를 이룰 경우는 초상자성(superparamagnetism)을 나타내며 온도가 증가하여 결정화에 의한 입자성장이 진행된다면 페리자성을 나타내게 된다⁸⁾.

기판온도가 증가하여 박막이 결정화되면 초교환작용이 더욱 용이해지므로 포화자화값 및 잔류자화값이 증가하며 이로인해 보자력 또한 증가하는 것으로 생각된다. 200°C 정도의 낮은 기판온도에서는 완전한 결정화가 이루어지지 못하므로 결정입자 내부에 여러가지 결함이 존재할 가능성이 크고, 또 결정입자의 크기가 작으므로 입계를 포함하는 자구의 형성이 용이하리라 생각되는데 이러한 결함이나 입계는 자화시에 자벽의 이동을 방해하기 때문에 보자력을 증가시킨다. 그러나 기판온도의 증가는 페라이트 박막의 결정화 뿐만 아니라 페라이트 입자의 성장도 초래하는데, 입자성장에 의한 입계면적의 감소와 결정화에 따른 결정성의 향상은 보자력을 감소시키는 역할을 하므로 기판온도에 따른 보자력값의 변화는 Fig.4(c)와 같이 최대점을 가지게 된다.

Kingery⁹⁾ 등의 Ni 페라이트 박막에 관한 연구결과에 의하면, 0°C 이하의 기판온도에서 반응성 스퍼터링으로 증착된 박막은 상자성을 나타내고, 0°C~330°C 기판온도 범위에서 증착된 박막은 약 30~60Å 정도의 입자크기를 갖는 Ni 페라이트가 증착된다. 이 경우 페라이트는 자기이방성(magnetic crystalline-anisotropy) 에너지가 열 에너지보다 낮기 때문에 빠른 시간내에 열적 평형상태에 도달한다. 이런 페라이트는 상자성을 나타낸다고 하기에는 작은 입자들이 나타내는 자화의 값이 매우 크기 때문에 초상자성을 띤다고 한다. 이것이 갖는 특징은 자기적인 hysteresis를 보이지 않고, Langevin equation을 만족한다는 것이다. 그러나, 400°C 이상의 기판온도에서 증착된 박막의 입자크기는 150Å 이상으로 이들 박막은 페리자성을 갖게 된다고 한다.

Fig.3에서 볼 수 있듯이 기판온도 200°C 조건에서 증

Table 2. The Effects of RTA on the Magnetic Properties of Ferrite Thin Films (deposition condition: Ar pressure: 80 mTorr, T-S distance: 3 cm, rf power: 100 W, Sub. Temp.: 150°C); Each value of the data is the ratio of the value of annealed samples to that of as-deposited samples

Temp.(°C)	$M_{s//}$	$M_{r//}$	$M_{s\perp}$	$M_{r\perp}$	$H_{c//}$	$H_{c\perp}$
500	1.85	2.72	1.82	2.06	1.64	1.47
600	2.20	3.07	2.10	2.55	1.63	1.63

착된 박막은 입자크기가 100~200Å 정도이므로 약한 페리자성을 띠고 기판온도 300°C에서 증착된 박막은 약 500~1000Å 정도의 입자크기를 갖기 때문에 강한 페리자성을 나타내는 현상은 이들의 보고와 잘 일치한다.

일반적으로 자성박막에 수직인 방향으로는 강한 '반자장' (demagnetizing field)이 존재해서 박막면에 수직인 방향으로는 스핀을 회전시키거나 자력을 이동시키기가 어렵기 때문에 박막면에 수직인 방향은 자화곤란축 (magnetization hard axis)이, 박막면에 수평인 방향은 자화용이축 (magnetization easy axis)이 된다. Fig. 4에서 $M_{s//}$, $M_{r//}$, $H_{c\perp}$ 값들이 $M_{s\perp}$, $M_{r\perp}$, $H_{c//}$ 각각의 값들보다 크게 나타나는 현상은 이와같은 형태이방성(shape anisotropy)에 주로 기인하는 것으로 생각된다.

3.5. 열처리에 의한 자기적 특성 변화

기판온도가 박막의 자기적 특성에 미치는 영향을 확인하기 위하여 증착된 박막을 다시 열처리한 후 자기적 특성을 측정하였으며, 이 때 사용된 박막은 기판온도 150°C에서 증착된 비정질에 가까운 것과 250°C에서 증착된 결정화된 박막이었다. 150°C에서 증착된 비정질에 가까운 박막을 급속열처리로서 500, 600°C로 90초간 열처리를 하였을 때의 자기적 특성변화는 Table 2에 나타난 바와 같이 열처리온도가 증가할수록 포화자화, 잔류자화, 보자력값이 모두 증가하는 양상을 보이며, 이러한 경향은 Fig. 4의 낮은 온도영역에서 기판온도증가에 따르는 자기적 특성 변화와 잘 일치한다.

그리고 150°C에서 증착된 박막을 일반로서 30분간 열처리하였을 때의 자기적 특성 변화는 Fig. 5와 같다. Fig. 5(a)에서는 열처리 온도가 600°C에서 700°C로 증가하면서 포화자화, 잔류자화값이 증가하지만 그 이상의 온도에서는 자화값이 포화됨을 보이는데, 이러한 현상은 최고점의 자화값이 비슷한 조성의 소결체의 자화값과 유사함을 미루어볼 때 열처리 시간이 길어서 충분한 열처리가 이루어졌기 때문에 나타나는 것으로 생각된다.

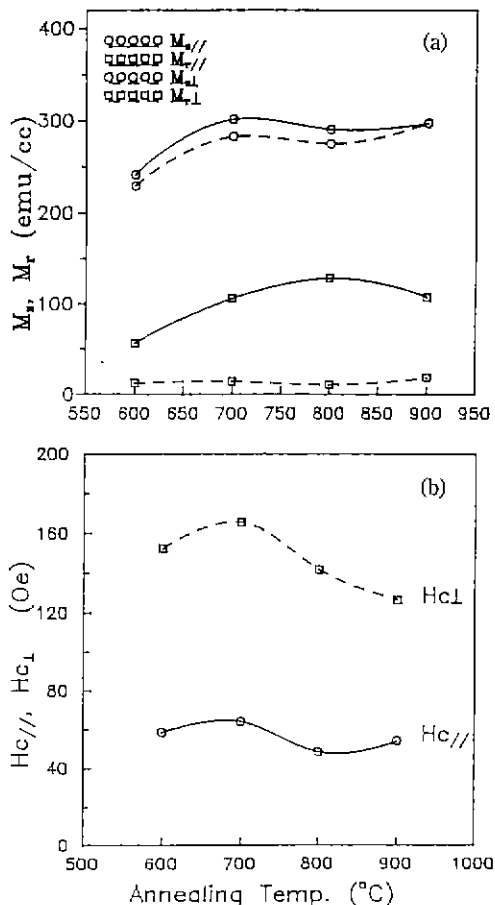


Fig. 5. Variation of saturation magnetization and remanence (a) and coercivity (b) as a function of the furnace annealing temperature (deposition condition; rf power: 100 W, T-S distance: 3 cm, Ar pressure 80 mTorr, sub. temp.: 150°C).

Fig. 5(b)에서는 열처리 온도에 따른 보자력 값의 변화가 최고점을 가지는 양상을 보이는데, 이러한 경향은 Fig. 4(c)에서의 값과 같이 기판온도에 따른 자기적 특성 변화와 일치하는 것으로 낮은 온도 영역에서는 온도가 증가함에 따라 결정화가 진행되어 자화값 및 보자력이 모두 증가하지만 어느 임계온도 이상에서는 결정화에 기인된 결정성의 향상 및 입자성장이 지배적이므로 보자력이 감소하는 현상을 잘 뒷받침해 준다. 700°C 이상에서 열처리온도 증가에 따른 박막의 표면형상 변화는 Fig. 6과 같으며 Fig. 3과 비교해볼 때 입자성장이 많이 진행되었음을 확인할 수 있다.

기판온도 250°C에서 증착된 결정화된 박막을 급속열처리로서 90초간 열처리하면 Fig. 7과 같이 열처리 온

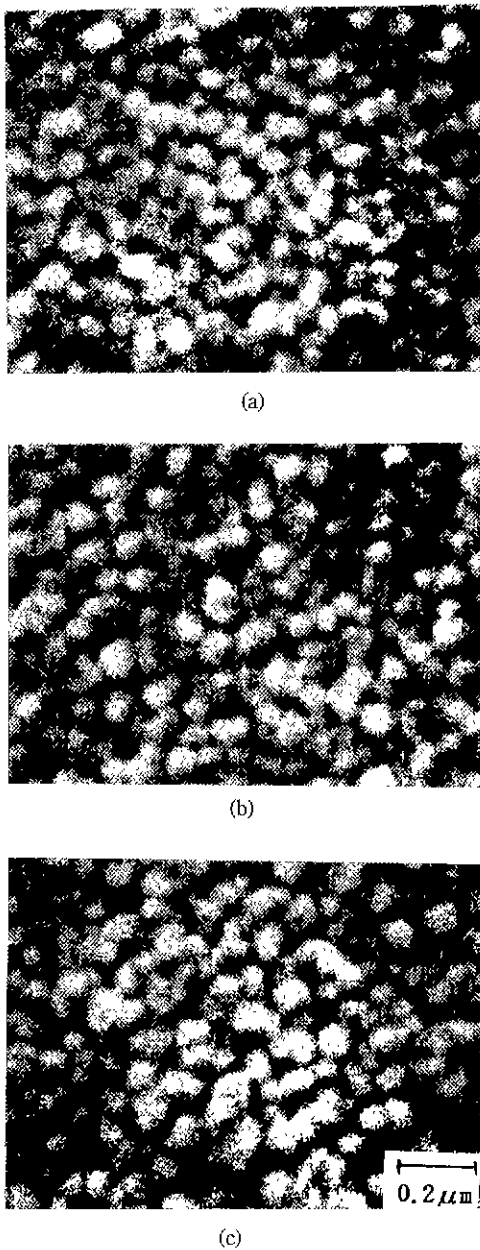


Fig. 6. Comparison of SEM image of thin films post-annealed at different temperatures, a) 700°C, b) 800°C, and c) 900°C (power: 100 W, sub. temp.: 150°C, T-S distance: 3 cm, Ar pressure: 80 mTorr).

도가 증가함에 따라 포화자화 및 잔류자화 값은 증가하지만 보자력은 감소하는 결과를 얻을 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 4의 높은 온도 영역에서 기판온도 증가에

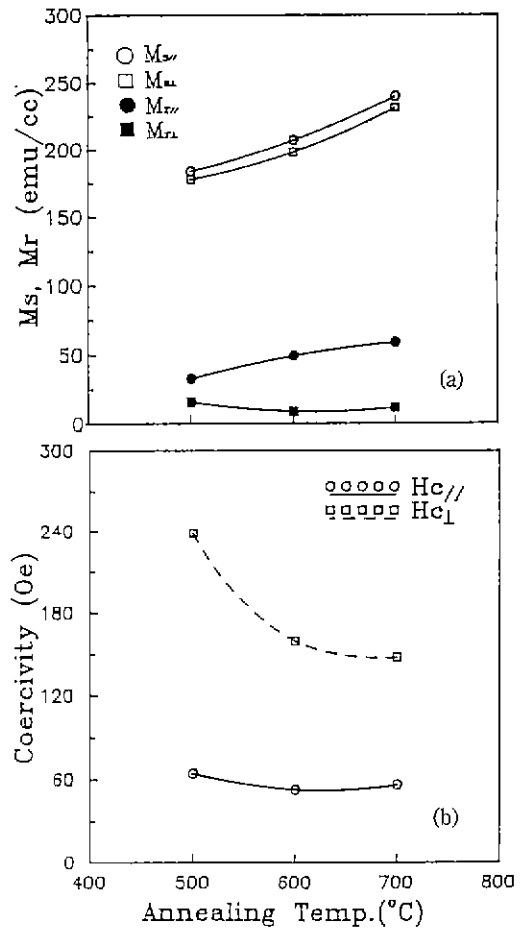


Fig. 7. Variation of saturation magnetization and remanence (a) and coercivity (b) as a function of the rapid annealing temperature (deposition condition; rf power: 100 W, T-S distance: 3 cm, Ar pressure: 80 mTorr, sub. temp.: 250°C).

따른 박막의 자기적 특성변화와 잘 일치하는 것으로 어느 정도 결정화된 박막의 경우는 열처리에 의해 입자성장, 결정성의 향상이 지배적이므로 잔류자화 및 포화자화 값은 증가하지만 보자력은 감소하는 것을 잘 입증해준다.

이와 같이 증착 후 열처리에 의해 자화값이 증가하고 보자력이 감소하는 현상은 전술한 바와 같이 입자성장 및 결정성 향상 뿐만 아니라 박막의 응력감소에도 크게 기인하리라 생각된다. 테이프를 박막에 붙였다 떼어내는 실험을 통하여 700°C 이상에서 열처리한 박막이 다른 박막에 비해 기판과의 부착력이 약함을 확인할 수 있었으며, 이러한 부착력이 감소된 박막의 잔류자화 값은 다른 박막에 비해 클 뿐만 아니라 소결체의 그 값과

유사함을 알 수 있었다. 따라서 스퍼터링 증착된 박막은 기판과 박막의 격자상수 및 열팽창계수의 차이로 인해 상당한 응력을 받고 있으며, 열처리에 의해 응력이 완화되면 자화값의 증가와 보자력의 감소를 나타낼 수 있다.

4. 결 론

RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용한 Ni-Zn-Cu 페라이트 박막제조에 있어서 기판온도가 박막의 자기적 특성에 미치는 영향을 고찰해 보았다.

성장된 박막은 기판온도에 관계없이 타겟과 유사한 조성을 가졌으며, 기판온도가 낮은 경우는 그늘 효과에 의해서 주상모양으로 박막이 성장하지만 기판온도가 높을 경우는 표면이동이 크게 일어나므로 등방형의 입자 성장이 일어났다.

기판을 가열하지 않고 성장시킨 박막은 비정질이고 페라자성을 나타내지 않았으나, 기판 온도가 증가함에 따라 박막이 결정화되므로 포화자화(M_s), 잔류자화(M_r), 보자력(H_c) 모두가 증가하는 경향을 보였다. 그러나 이러한 기판온도의 증가는 다른 한편으로는 결정성장 및 결정성 향상을 일으켜서 어느 임계온도 이상에서는 보자력이 감소하였다. 이러한 기판온도의 자기적 특성에 대한 영향은 증착된 박막을 열처리함으로써 확인할 수 있었다.

저온에서 증착된 비정질에 가까운 박막의 열처리 온도에 따른 특성변화는 기판온도의 변화에 따르는 특성변화와 같은 경향을 보였으며, 고온에서 증착된 결정화된 박막의 열처리 온도에 따른 자기적 특성변화는 온도의 증가에 따라 포화자화값은 증가하고 보자력은 감소하는 경향을 보임으로써 기판온도가 고온일 때 페라이트 박막의 자기적 특성에 미치는 효과와 잘 일치하였다.

REFERENCES

1. M. Matsuoka, Y. Matsuda, Y. Hoshi and M. Naoe,

"Sputter Deposition and Magnetic Properties of Mn-Zn Ferrite Films Composed of (111) Plane Oriented Crystallites," *J. Magn Magn Mat*, **54-57**, 1603-1604 (1986).

2. K. Matumoto, S. Nakagawa and M. Naoe, "Preparation of Mn-Zn Ferrite Thin Films with Good Crystallinity at Substrate Temperature of 100°C," *Proceedings ICF-5*, 1987, India, 545-549.

3. G.R. Pullham, "Chemical Vapor Growth of Single-Crystal Magnetic Oxide Films," *J. Appl. Phys.*, **38**(3), March 1967, 1120-1126.

4. William Wade, Thomas Collins, W.W. Malinofsky and William Skudera, "Chemically Deposited Thin Ferrite Films," *J. Appl. Phys.*, **34**(4), 4(1962), 1219-1220.

5. Hideaki Itoh, Tadashi Takeda, Shigeharu Naka, "Preparation of Nickel and Ni-Zn Ferrite Films by Thermal Decomposition of Metal Acetylacetonates," *J. Materials Science*, **21**(1986), 3677-3680.

6. I. Zaquine, H. Benazizi and J.C. Mage, "Ferrite Thin Films for Microwave Applications," *J. Appl. Phys.*, **64**(10), 15 November 1988, 5822-5824.

7. D.S. Lo, G.F. Sauter, and W.J. Simon, "rf-Sputtered Ferrite Films," *J. Appl. Phys.*, **40**, August 1967, 5402-5403.

8. R.J. Brook and W.D. Kingery, "Nickel Ferrite Thin Films: Microstructures and Magnetic Properties," *J. Appl. Phys.*, **38**(9), March(1961), 3589-3594.

9. Henry P. Lemaire and William J. Croft, "Ferrite Thin Films," *J. Appl. Phys.*, **32S**(3), 46S-47S.

10. F.R. Gleason, L. RL Watson, "Ferrite Films Prepared by Pyrohydrolytic Deposition," *J. Appl. Phys.*, **34**(4), April 1963. 1217-1218.

11. E. Banks, N.H. Riederman, H.W. Schlemming, and L.M. Silber, "Preparation and Properties of Thin Ferrite Films," *J. Appl. Phys.*, **32S**(3), March 1961. 44S-45S.

12. J.A. Thornton, "High Rate Thick Film Growth," *Ann. Rev. Mater. Sci.* **7**, 239 (1977).