≪연구논문≫ Journal of The Korean Magnetics Society, Volume 10, Number 1, February 2000

# Nd-YAG Pulsed Laser Ablation법으로 제작한 SmCo계 박막의 자기특성

김상원 · 양충진
포항산업과학연구원 재료공정연구센터 금속 · 코팅재료연구팀
경북 포항시 남구 효자동 산 32, 790-600

(1999년 9월 29일 받음, 1999년 12월 10일 최종수정본 받음)

Q switch mode 혹은 Fixed Q mode의 Nd-YAG 레이저 어블레이션법으로 (100)Si 기판위에 SmCo 박막을 증착하였다. 증착시 $Sm_{100-x}Co_x$ ($73 \leq x \leq 93$) 조성의 타겟을 사용하였고, 기판온도는 600~700 °C로 변화시켰으며 각 mode의 에너지를 조절하였다. Q switching mode로 증착된 박막의 $4\pi Ms$, $_iH_c$ 및 $4\pi M_r/4\pi M_s$는 각각 5.2~7.7 kG, 190~250 Oe, 0.4~0.74이었다. 반면, Fixed Q mode로 얻어진 박막의 $_iH_c$, $4\pi M_r/4\pi M_s$는 각각 430~6290 Oe, 0.32~0.91로 훨씬 양호한 경자기 특성이 나타났다. 후자의 자기특성은 박막에 존재하는 입자(droplet)내 $SmCo_5$와 $Sm_2Co_{17}$상의 생성에 의한 것으로 판단된다. 입자의 존재로 인한 박막표면의 거칠기는 향후 연구에서 해결되어야 할 문제점으로 확인되었다.

## I. 서 론

최근, 컴퓨터기술의 진보는 자기기록소자에 있어 기록밀도증가를 끊임없이 요구하고 있다. 면내 자기기록매체에 요구되는 10~20 Gbit/in$^2$의 기록밀도범위를 만족시키기 위해서는 자성 입자가 ~10 nm 정도로 작아야 하고 보자력은 3~4 kOe 정도가 되어야 한다[1]. 이와 같은 조건을 충족시키기 위해서 종래의 Co-Cr-Pt 합금계에서 얻은 보자력보다 더 큰 값을 나타내는 $SmCo_5$가 주상인 희토류-천이금속화합물 박막에 관한 연구[2,3]가 진행되어 왔으며, 그 외 이 합금계의 박막화에 관한 연구도 진행되어 왔다[4-9].

한편, SmCo계와 같은 영구자석박막은 마이크로파 장비가 소형 및 경량화 됨에 따라 효율적 MMIC(monolithic microwave integrated circuit)화를 위한 바이어스(bias) 자장용 영구자석으로서 활용될 수 있으며, 마이크로모터(micromotor)와 마이크로액츄에이터(microactuator)등과 같은 마이크로기계 및 마이크로전자(micromechanics 및 microelectronics)분야에서의 활용도 기대된다[10-12].

본 연구에서는 3원계 이상의 화합물 박막제작에 유용하게 활용되는 레이저 어블레이션(laser ablation)법[13-15]을 이용하여 SmCo계 박막을 제작하고, 자기특성에 미치는 제공정변수의 영향을 고찰함으로써, 고온내식성과 보자력 특성이 우수한 영구자석 박막제작에 관한 기초지식을 확보하는 것을 목적으로 하였다.

## II. 실험방법

### 2.1 시편제조

반응실의 초기진공을 $5\times10^{-6}$ Torr 이하로 한 후, 기판온도를 600~700 °C에 도달하게 하여 각각의 온도에서 파장이 1064 nm인 Nd-YAG 레이저광 발생장치(Spectron Laser System, model Dual SL450)를 이용하여 박막을 제작하였다. 레이저어블레이션시 아크용해로 제작한 직경이 50 mm, 두께가 5 mm인 $Sm_{100-x}Co_x$ ($73 \leq x \leq 93$) 타겟을 레이저광의 입사방향으로부터 45° 기울게 위치시켰으며, 증착시 3.3 rpm으로 회전시켰다. 증착속도와 밀접한 관계가 있는 타겟의 표면은 매실험마다 1500번까지의 사포로 연마하여 경면상태를 유지하도록 하였다. 기판은 10 $\times$10$\times$0.5 mm$^3$ 크기의 (100)Si 단결정을 사용하였으며 타겟의 중심부로부터 기판 중앙부까지의 거리를 5 cm로 고정하였고, 박막제조시 두께의 균일화를 위하여 기판홀더를 3 rpm으로 회전시켰다. 6~9 ns의 펄스폭(pulse width)을 가지는 Q switching mode 혹은 광학적으로 발진시간을 증가시켜 펄스폭을 200 μs로 한 Fixed Q mode 광의 에너지밀도는 펄스주파수(repetition rate)를 12.5~50 Hz로 변화시키며 촛점거리가 50 cm인 볼록렌즈로 타겟표면에서의 광의 면적을 조절함으로써 변화시켰고, 레이저에너지미터(Molectron Detector Inc.)를 사용하여 그 값을 확인하였다. 기판표면에서의 온도는 기판홀더의 발열체 수명을 고려하여 5 °C/min의 승온속도로 가열하여 목적온도에 도달케 하였다. 어블레이션으로 박막의 형성이 끝난 후, 급냉으로 인한 기판면에서의 박막 박리 및 균열을 방지하기 위하여 300 °C까지 3.3 °C/min 속도로 온도를 내린 후 상온까지 노냉시켰다.

### 2.2 분석 및 평가

박막의 두께는 α-step (Tencor Instrument Inc.)을 이용하여 측정하였다. 자기특성은 시편진동형자력계(VSM, Toei)을 이용하여 최대 16 kOe의 자기장을 박막면에 대하여 평행 혹은 수직방향으로 인가하여 측정한 M-H 곡선으로부터 분석 · 평가하였다. 제작 시편은 모두 면내이방성을 나타내는 것으로 파악되었으므로 실험결과에서는 평행 자기장인가시 결과에 대해서만 언급하였다. 박막의 결정배향성은 Rigaku사의 XRD-MXC를 사용하여 얻어진 회절도로 분석하였다. Ni 필터를 사용하여 Cu Kα선이 나오게 하였으며, 사용한 전류와 전압은 각각 150 mA, 50 kV였다. 박막의 성분, 표면형상 및 박막두께방향으로의 농도 프로화일은 각각 EPMA, SEM, AES로 분석·평가하였다.

## III. 실험결과 및 고찰

### 3.1 Q switching mode 레이저광으로 제작된 $Sm_{100-x}Co_x$ 박막의 자기특성

Q switching mode의 레이저광을 이용한 경우, 예비실험을 통하여 결정한 증착조건으로 에너지밀도와 기판온도를 각각 100~161 J/cm$^2$, 680 °C로 하였으며 $Sm_{100-x}Co_x$ (x = 73, 78, 83.3, 87, 93) at.%의 타겟을 사용하여 박막을 제작하였다. 타겟과 박막간의 조성에는 차이가 있었으므로 본문 혹은 그림에 나타내는 모든 Co 농도 x는 각각의 박막제작시 사용한 타겟의 Co 농도 x로 통일하여 표기하였다.

타겟의 특성은 레이저어블레이션의 특징상 제작될 박막의 성분 및 자기특성에 영향을 줄 것이므로 타겟의 상태를 XRD로 조사하고 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 그림은 $SmCo_5$ 조성의 타겟으로부터 얻은 것인데 회절선은

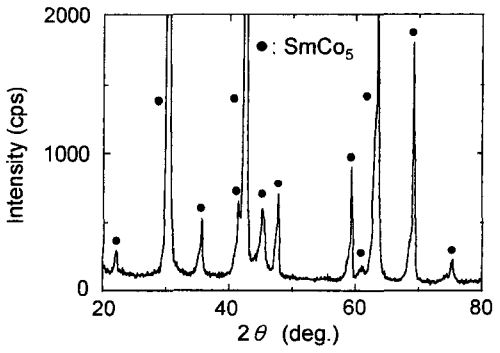


**Fig. 1.** XRD pattern of plasma arc melted $SmCo_5$ target.

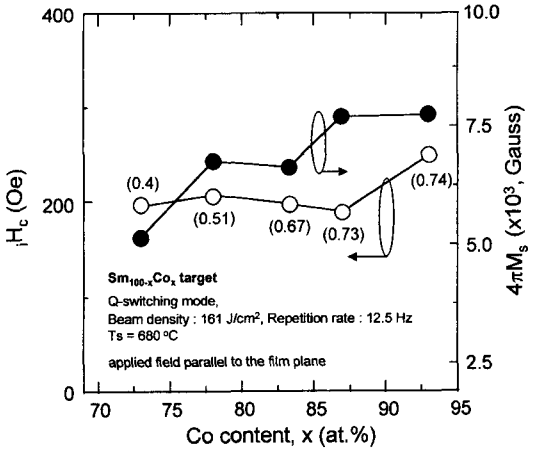


**Fig. 2.** Dependence of magnetic properties of SmCo films deposited with Q switching mode laser beam on Co content x.

전부 $SmCo_5$상의 것으로 특히 산화물상의 회절선은 관측되지 않았다. 따라서 별도의 타겟 균질화 처리는 필요 없었으며, 타겟 표층부의 상태와 박막내 산화물의 생성과는 무관할 것으로 생각된다.

Fig. 2에는 에너지밀도 및 기판온도가 각각 161 J/cm$^2$, 680 °C인 조건으로 증착한 $Sm_{100-x}Co_x$ (x = 73, 78, 83.3, 87, 93) 박막에서 얻어진 $_iH_c$, $4\pi M_s$, $4\pi M_r/4\pi M_s$ (각형비)의 x 의존성을 나타내었다. $4\pi M_s$는 16 kOe의 자기장인가시 얻은 거의 포화된 자화값이며, 괄호안의 값은 각형비이다. x가 증가함에 따라 $4\pi M_s$는 5200 G에서 7750 G까지 변화하며, $_iH_c$는 196 Oe에서 250 Oe정도의 변화로 작은 값을 나타내고 있다. 각형비는 0.4에서 0.74까지 현저히 증가하는 경향을 보이는데, 이로부터 x의 증가가 면내 자기이방성의 증가에 기여하였음을 알 수 있고, SmCo 계 박막의 경우 면내이방성을 가진다는 기존의 보고와 정성적으로 일치한다[6-8, 10]. 이와 같은 거동에 있어 전체적으로 작은 값이기는 하나 x = 93에서 $_iH_c$가 다소 증가한 것은 경자성상의 생성과도 관련있는 것으로 생각된다. 그러나 이 결과에서 $_iH_c$가 매우 작고, x = 93에서의 $4\pi M_s$가 $SmCo_5$(x = 83.3)상의 $4\pi M_s$인 9650 G에도 미치지 못한 7750 G정도로 나타났으므로 그 원인을 명확히 할 목적으로 EPMA와 XRD 실험을 통하여 박막의 성분 및 결정상을 조사하였다.

Fig. 3에는 분석된 일부 박막시편의 평균조성을 박막제작시 사용한 타겟의 조성에 대하여 나타내었다. 그림의 흰 점은 타겟의 조성이며 검은 점은 박막의 조성이다. 그림에서 타겟의 x가 73일 때 박막의 x는 68.1로 5 at.%의 차이

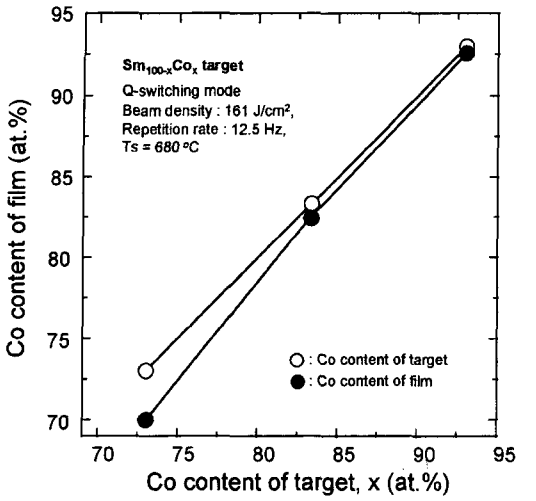


**Fig. 3.** Relationship between Co content of films and Co content of targets.

를 보이며, 타겟의 x가 증가할수록 타겟과 박막의 조성차이는 감소하여 타겟의 x가 93이 되면 박막의 x는 92.6으로 0.4 at.% 범위 이내에서 잘 일치하고 있다. 이는 동일한 증착조건에서 레이저광에 의한 Co의 증발속도는 Sm에 비하여 상대적으로 작다는 것을 암시하며, 어블레이션시 무거운 원자가 어블레이션된 입자들의 방해를 적게 받고 기판에 도달함을 의미한다. 따라서, 타겟의 표면상태와 제작된 박막의 조성만을 자기특성과 관련지어 고찰하면, 이는 열악한 경자기 특성의 원인이 아닌 것으로 판단되며 결국 박막내 생성된 결정상에 문제가 있음을 유추할 수 있다.

Fig. 4의 (a), (b), (c)는 Fig. 2의 일부 시편에 대한 XRD 결과이다. 각 회절도에서 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$ 등의 경자성상 이외에도 이들 회절선과 분리가 어려운 $Sm_5Co_2$상 및 산화물인 $Sm_2O_3$, $Sm_2Si_2O_7$상도 복합적으로 존재하는 것으로 관측된다. x가 큰 (c)에서는 (a), (b)와는 달리 $2\theta = 27°$, 34° 부근의 회절선이 비교적 날카롭게 성장하며, 경자성상의 위치인 44.4° 부근의 것은 미약하지만 다소 명확하게 성장해 있음을 알 수 있다. 이 결과에서 박막내 산소의 존재를 분명히 하기 위하여 AES 분석을 행하였으며 x = 83.3 박막에 대한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. AES 분석시 표준시편을 제작하여 비교 · 보정 하지 않았으므로 깊이에 따른 각 구성원소의 절대농도값은 알 수 없다. 그러나 기판으로부터 박막으로의 Si 확산은 무시할 수 있을 정도이며, 이는 NdFeB계 박막에서 Si가 쉽게 확산한 결과와는 상이한 현상이다[16]. 한편 산소는 막전체에 대하여 상당량 분포하고 있음을 정성적으로 확인할 수 있다.

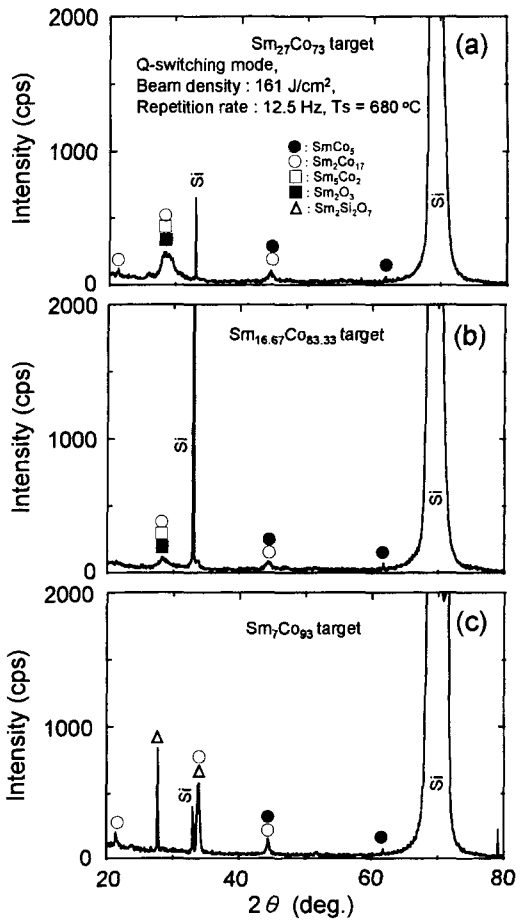


**Fig. 4.** XRD patterns of films grown at 680 °C with Q switching mode laser beam from (a) $Sm_{27}Co_{73}$, (b) $Sm_{16.67}Co_{83.33}$, and (c) $Sm_7Co_{93}$, respectively.

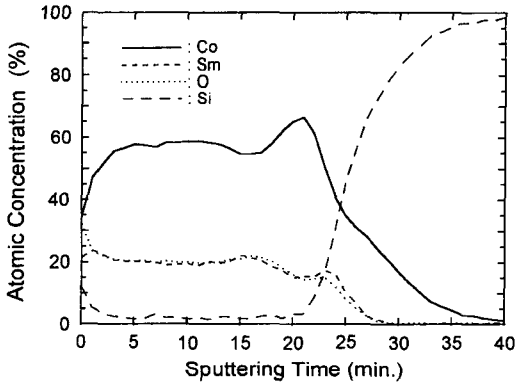


**Fig. 5.** Auger depth profile of $Sm_{16.67}Co_{83.33}$ film deposited with Q switching mode laser beam.

상기의 결과로부터 어느 시편에 있어서도 경자성상 이외에 산화물상이 복합적으로 존재하고 있음이 분명하며,

Fig. 2에서 열악했던 $_iH_c$, $4\pi M_s$ 값의 원인이 무엇인지 잘 설명하고 있다.

한편, $Sm_5Co_2$, $Sm_2O_3$ 및 $Sm_2Si_2O_7$ 등의 생성 원인은, Fig. 3의 조성분석에서 나타난 바와 같이 전반적으로 높았던 Sm 농도와 관련이 있으며 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$ 등 경자성상의 생성과 동시에 과잉으로 남은 Sm이 반응실내의 산소 혹은 기판물질과 반응한 결과로 추측된다.

박막내의 산화물은, 이미 언급한 타겟표면의 물질이 원인이 될 수 없고 박막형성중 반응실내로 침입한 산소와의 결합으로 생성된 것으로 결론지을 수 있다. 본 연구에서의 박막 제작은 $3\sim5\times10^{-6}$ Torr의 진공도에서 이루어졌다. 실제 이 정도의 진공도는, SmCo계보다 산화의 가능성이 큰 NdFeB계 박막의 열처리를 $4\times10^{-6}$ Torr의 진공중에서 산화없이 수행한 연구보고[17]도 있는 만큼 박막의 자기특성에 치명적 악영향을 줄 정도로 산화물을 다량 생성시킬 낮은 값이라 판단되지 않는다. 그러나 본 연구에서는 산화의 영향을 확인하기 위하여, 진공도를 $3\times10^{-6}$ Torr 이하로 낮추는 것은 현 장비의 여건상 곤란하므로 증착시간을 단축시켜 상대적으로 산화의 가능성을 줄이는 시도를 하였다.

### 3.2 Fixed Q mode 레이저광으로 제작된 $Sm_{100-x}Co_x$ 박막의 자기특성

전술한 결과는 각 어블레이션 조건에서 20분간 증착된 박막에서 얻어진 것이다. 따라서 증착시간을 크게 줄이는 대신 에너지밀도를 대폭 증가시킨 Fixed Q mode 레이저광을 이용하여 박막을 제작하였다. 박막증착은 $1\times10^5$ J/cm$^2$의 높은 에너지를 사용하여 680 °C의 기판온도에서 1분간 이루어졌다.

Fig. 6에 상기의 증착조건으로 제작된 $Sm_{100-x}Co_x$ (x=73, 78, 83.3, 87, 93) 박막의 $_iH_c$ 및 $4\pi M_r/4\pi M_s$의 x의존성을 나타내었다. 박막표면의 입자존재로 입자를 포함한 박막의 평균 두께 측정이 불가능하였으므로 $4\pi M_s$ 는 나타내지 않았다. x가 감소할수록 두 특성이 유사한 경향으로 증가하는데 $_iH_c$는 420 Oe에서 6300 Oe까지, $4\pi M_s/4\pi M_s$는 0.32에서 0.91까지 크게 변화하고 있다. 이 결과

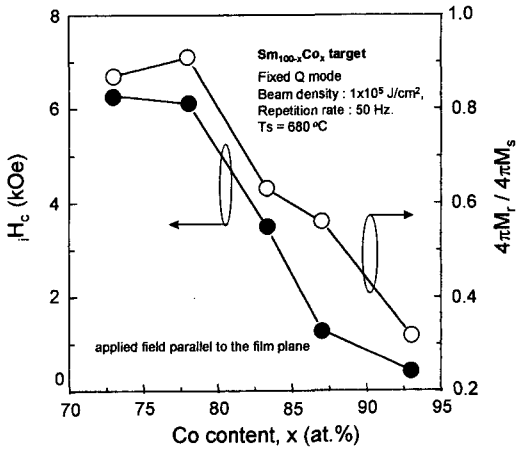


**Fig. 6.** Dependence of magnetic properties of SmCo films deposited with fixed Q mode laser beam on Co content x.

에서도 면내자기이방성이 확인되었다. Fig. 6의 경향은 Fig. 2와 반대이며, x = 73, 78에서의 $_iH_c$와 $4\pi M_r/4\pi M_s$는 각각 30배, 2배 이상 개선되었다.

레이져어블레이션의 특성상 에너지밀도의 증가로 박막표면에서 입자의 현저한 증가가 예측된다. 이를 확인키 위하여 x = 73, 83.3, 93 박막의 표면형상을 박막의 직상 혹은 사각에서 관찰하였으며 직상에서의 결과만을 Fig. 7의 (a), (b), (c)에 나타내었다. 예상대로 Q switching mode로 제작한 박막에서는 존재하지 않았던 직경 50 μm 정도인 거대한 입자가 존재하며, 1~2 μm정도의 작은 입자도 일부 존재한다. 사각에서의 관찰결과에서 대부분의 거대입자는 납짝한 형상이나, 간헐적으로 원추형상의 입자도 존재하였다. 이러한 입자는, Fixed Q mode의 강력한 레이저광에너지와 타겟물질의 상호작용으로 에너지를 흡수한 영역의 타겟물질이 레이저광이 조사되는 순간 완전히 플라즈마 상태로 변환되지 못하고, 일부 플라즈마 상태로 변환된 것은 기판에 도달하여 박막의 기지부를 형성하고 일부는 용해되어 액적상태로 비산되며 기판에 도달할 때의 충격으로 얇게 퍼진 형상으로 되었음을 추측할 수 있다. 박막표면형상은 어떤 형태로든 자기특성에 영향을 줄 것이므로 박막의 평균조성 및 기지와 입자에서의 성분을

**Table I.** Concentration of $Sm_{100-x}Co_x$ films deposited with fixed Q mode laser beam.

| x of film (at.%) / x of target (at.%) | matrix | | droplet | | matrix+droplet | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100-x | x | 100-x | x | 100-x | x |
| 73 | 57.27 | 42.73 | 25.70 | 74.30 | 42.01 | 57.99 |
| 83.3 | 37.19 | 62.81 | 17.73 | 82.27 | 27.25 | 72.75 |
| 93 | 17.94 | 82.06 | 7.48 | 92.52 | 13.82 | 86.18 |

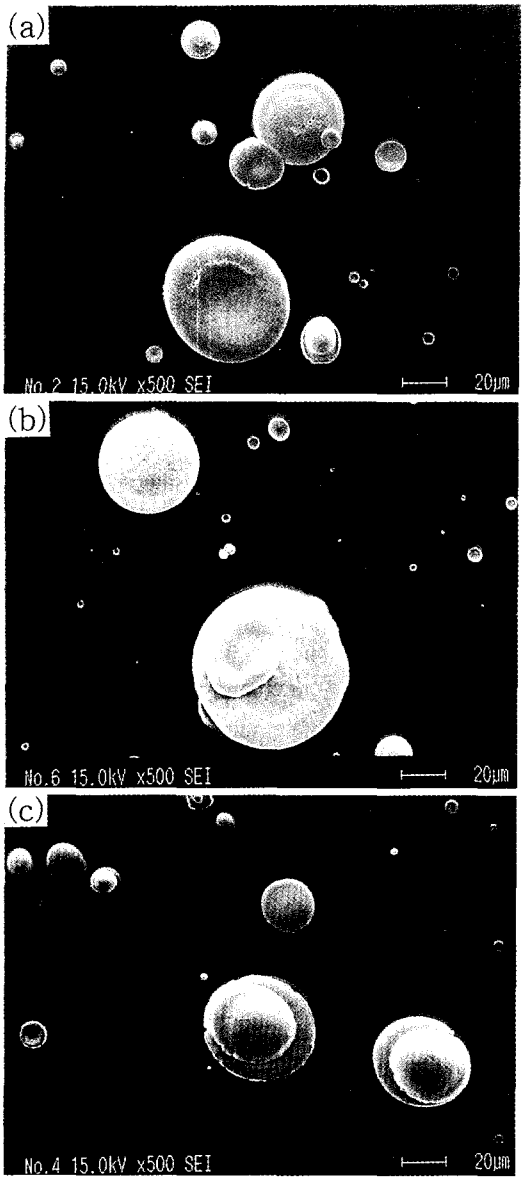


**Fig. 7.** SEM micrographs showing the surfaces of the films deposited from (a) $Sm_{27}Co_{73}$, (b) $Sm_{16.67}Co_{83.33}$, and (c) $Sm_7Co_{93}$, respectively, All deposited with fixed Q mode laser beam.

분석하여 Table I에 정리하였다.

Table I에서 박막의 평균조성은 Sm의 농도가 타겟에 비해 거의 1.5~2배 정도 큰 것으로 나타나고 있으며, 입자의 성분은 타겟의 성분과 거의 동일하다. 조성분석에서 산소는 기지와 입자에서 거의 검출되지 않아 증착시간의 단축이 산소와 반응을 줄이는데 효과적이었음을 암시한다.

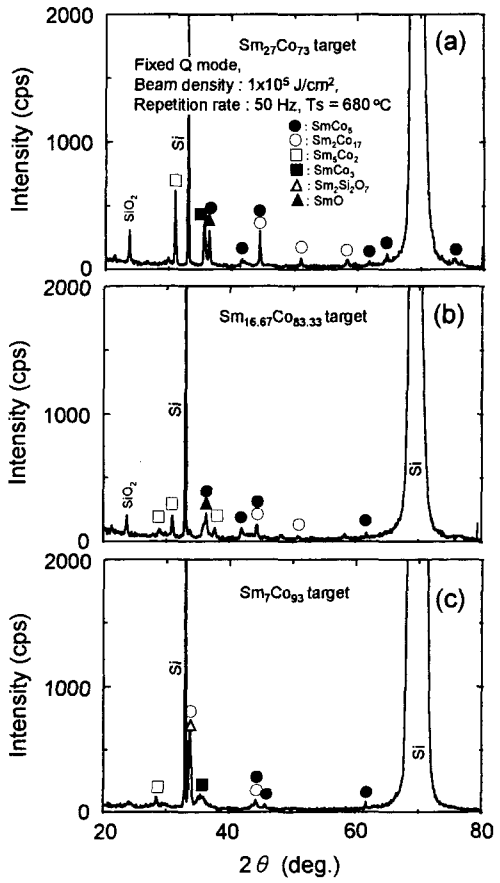


**Fig. 8.** XRD patterns of films grown at 680 °C with fixed Q mode laser beam from (a) $Sm_{27}Co_{73}$, (b) $Sm1_{6.67}Co_{83.33}$, and (c) $Sm_7Co_{93}$, respectively.

실제 박막중의 산화물 생성여부를 관찰한 x = 73, 83.3, 93 시편의 XRD 결과를 Fig. 8의 (a), (b), (c)에 나타내었다. 각 조성의 회절도에 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$, $Sm_5Co_2$, SmO 및 $Sm_2Si_2O_7$ 등의 회절선 위치를 표기하였다. SmO, $Sm_2Si_2O_7$의 위치에서는 결정면간 거리가 이와 유사한 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$ 회절선이 복합적으로 존재할 수 있다. 조성분석에서 언급한 대로 산화물이 없는 것으로 판단되지만 회절선 위치에서의 면간격이 정밀하게는 산화물쪽에 가까우므로 산화물 생성의 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 이는 Fig. 9(a), (b)의 AES 결과에서 보다 명확하게 판명된다. 그림의 (a)와 (b)는 각각 Fig. 7의 (b)에서 기지부와 입자부에서의 농도분포이다. 산소는 기지 혹은 입자 어느 쪽에 있어서도 내부에는 거의 없으며 표면에 가까운 쪽에서만 검출되어 있음을 알 수 있다. 단, 입자에 있어서 산소가 존재하는 표층부는 Fig. 5의 박막 두께보다

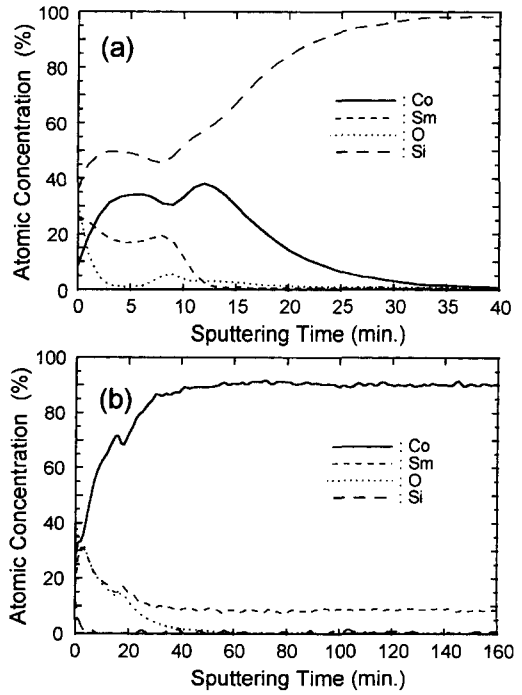


**Fig. 9.** Auger depth profiles of (a) matrix and (b) droplet in the $Sm1_{6.67}Co_{83.33}$ film deposited with fixed Q laser beam.

오히려 더 두꺼운 것으로 판단된다. (a)에서는 Si의 농도가 다른 원소보다 항상 높게 나타나 어블레이션시 강력한 플룸(plume)의 도달로 기판과 혼합되어 마치 플룸의 입자가 기판을 파고든 양상을 보이고 있지만, 실제는 α-step에 의한 막두께 측정시 기판면과 입자를 피한 기지부의 경계면에서 기지부의 두께가 500 Å정도로 확실한 단차가 형성되어 있고, 성분 분석결과에서도 Sm이 높게 나타난 것 등을 고려하면 표준시편으로 보정하지 않은 AES 농도값은 의미가 없다. 따라서 AES의 결과에서는 Fig. 8의 산화물 존재를 뒷받침하는 산소의 검출만이 의미를 가진다.

한편, Fig. 4의 결과에 비하여 특히 Fig. 8의 (a)에서는 $Sm_5Co_2$ 화합물의 회절선이 주회절선으로 관측되고, 경자성상인 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$의 회절선이 다수 관찰됨과 동시에 44.4° 부근의 회절선이 크게 성장해 있는 것은, 박막의 평균조성에서 Sm 농도가 타겟보다 높았던 것이 주원인이며, 타겟 성분과 거의 동일한 입자의 기여도 매우 컸던 것으로 생각된다. 이로써 $_iH_c$가 현저히 증가한 Fig. 6의 결과가 설명된다. 또한, x = 83.3보다 작은 쪽에서 $_iH_c$가 현저하게 증가한 것은, 박막의 평균조성에 있어 Sm의 농도와 밀접한 관계가 있으며, Fig. 8의 (a), (b)에서 $Sm_5Co_2$, $SmCo_5$ 및 $Sm_2Co_{17}$ 등 각 상의 적당한 생성비율과 (c)에서의 비자성상 $Sm_2Si_2O_7$의 형성과도 관련있는 것으로 추정되나 구체적 원인에 대해서는 현재 조사중에 있다.

Fig. 6의 결과는 거대한 입자의 형성으로 결코 양호한 상태의 박막으로는 볼 수 없다. 그러나 양호한 경자기 특성의 발현에는, $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$상의 생성을 위한 박막의 화학양론적 평균조성의 제어가 중요하지만 이는 박막증착 조건에 의존하여 변화하므로 산화물 생성없이 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$상의 생성을 촉진시킬 공정변수의 설정이 무엇보다 중요함을 알 수 있다. 결국, 박막의 평균조성이 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$상의 화학양론적 조성으로부터 크게 벗어났다 하더라도 소량 촉진된 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$상의 생성으로도 현저한 경자기 특성의 개선효과가 나타남이 밝혀졌고, 이를 위해 산소의 침입경로를 효과적으로 차단하는 것이 특성향상의 핵심인 것으로 결론지을 수 있다.

## IV. 결 론

Nd-YAG 레이저어블레이션법으로 제조한 $Sm_{100-x}Co_x$ ($73 \le x \le 93$) 박막의 자기특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Q switching mode의 레이저광으로 제작된 박막은 600 °C이상 기판온도가 상승할수록 $_iH_c$와 $4\pi M_r/4\pi M_s$가 증가하며, 광에너지밀도에 대해서는 기판온도와 유사한 경향을 나타내나 100 J/cm$^2$ 이상에서는 거의 변화가 없었다.

2) 680 °C의 기판온도, 161 J/cm$^2$의 레이저광에너지밀도로 제작된 박막의 $4\pi M_s$, $_iH_c$, $4\pi M_r/4\pi M_s$는 각각 5156~7753 Gauss, 295~250 Oe, 0.31~0.71을 나타내었으나 $_iH_c$는 매우 열악하였다.

3) 박막의 조성이 타겟의 조성과 거의 동일하였음에도 불구하고 나타난 열악한 경자기 특성은, 박막중 경자성상인 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$ 이외의 $Sm_5Co_2$, 그리고 $Sm_2O_3$, $Sm_2Si_2O_7$ 등 비자성 산화물의 생성에 크게 기인하였다.

4) 증착시간을 대폭 단축시킨 Fixed Q mode의 레이저광으로 680 °C의 기판 온도에서 제작된 박막의 $4\pi M_r/4\pi M_s$, $_iH_c$는 각각 약 0.3~0.9, 430~6290 Oe로, 1)의 결과에 비하여 훨씬 개선된 값이었다.

5) 4)의 양호한 특성은, 촉진된 $SmCo_5$, $Sm_2Co_{17}$상의 생성에 기인한 것으로 판단되며, 박막표면상에 존재하는 타겟의 조성과 동일한 직경 50 μm 정도인 거대한 입자가 기여한 것으로 생각된다.

6) 4) 특성의 조성 의존성은, 박막중 $Sm_5Co_2$, $SmCo_5$,

$Sm_2Co_{17}$상 등의 생성량과 관련 있는 것으로 추측된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 특정연구개발사업 중 미래원천기술개발사업(과제번호 : 98E004)의 일환으로 수행되었으며 연구비 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

[1] D. N. Lambeth, D. E. Laughlin, S. Charp, L.-L. Lee, P. Harllee, and L. Lang, *Nanomagnetism*, edited by G. C. Hadjipanayis (1996), p. 49.
[2] Y. Liu, D. J. Sellmyer, B. W. Robertson, S. S. Shan, and S. H. Liou, IEEE Trans. Magn. **MAG-31**, 2740(1995).
[3] E. M. T. Velu and D. N. Lambeth, IEEE Trans. Magn. **MAG-28**, 3949(1992).
[4] S. H. Aly, T. D. Cheung, L. Wickramasekara and F. J. Cadieu, J. Appl. Phys. **57**(6), 2147(1985).
[5] F. J. Cadieu, J. Vac. Sci. Technol., **A6**(3), 1668(1988).
[6] F. J. Cadieu, H. Hegde, and K. Chen, IEEE Trans. **MAG-25**, 3783(1989).
[7] K.-H Muller, Lei CaO, N. M. Dempsey, and P. A. P. Wendhausen, J. Appl. Phys. **79**, 5045(1996).
[8] E. E. Fullerton, J. S. Jiang, C. Rehm, C. H. Sowers, S, D. Bader, J. B. Patel, and X. Z. Wu, Appl. Phys. Lett. **71**, 1579(1997).
[9] C. Prados and G. C. Hadjipanayis, Appl. Phys. Lett. **74**, 430(1999).
[10] S. Yamashita and J. Yamasaki, J. Appl. Phys. **70**, 6627(1991).
[11] D. D. Stancil, Microwave Opt. Technol. Lett. **2**(3), 53(1989).
[12] H. Lemke, T. Lang, T.Goddenhenrich and C. Heiden, J. Magn. Mag. Mat., **148**, 426(1995).
[13] S. Otsubo, T. Minamikawa, Y. Yonezawa, T. Maeda, A. Morimoto and T. Shimizu, Jpn. J. Appl. Phys. **28**(11), 2211(1989).
[14] G. M. Davis and M. C. Gower, Appl. Phys. Lett. **55**(2), 112(1989).
[15] P. Dorsey, R. Seed and C. Vittoria, IEEE Trans. **MAG-28**(5), 3216(1992).
[16] ChoongJin Yang, SangWon Kim, and Jong Seog Kang, J. Magn. Magn. Mat., **188**, 100(1998).
[17] M. Shindo, M. Ishizone, A. Sakuma, H. Kato, and T. Miyazaki, J. Appl. Phys., **81**(8), 4444 (1997).

# Magnetic Properties of SmCo Thin Films Grown by Using a Nd-YAG Pulsed Laser Ablation Method

**Sang Won Kim and Choong Jin Yang**

*Elecromagnetic Materials Laboratory, Research Institute of Industrial Science & Technology(RIST), Pohang 790-600, Korea*

(Received 29 September 1999, in final form 10 December 1999)

SmCo films were deposited on Si(100) substrate by a Nd-YAG pulsed laser ablation of the targets of $Sm_{100-x}Co_x$ ($73 \leq x \leq 93$) at the substrate temperature of 600~700 °C and the laser beam energy density of Q switching mode or fixed Q mode. The magnetic properties of the films obtained from the Q switching mode exhibited a 4 $\pi$ Ms of 5200~7700 Gauss, iHc of 190~250 Oe, and $4\pi M_r/4\pi M_s$ of 0.4~0.74, respectively, while the fixed Q mode gave the magnetic properties of corresponding films of a $4\pi M_r/4\pi M_s = 0.32$~0.91 and iHc of 430~6290 Oe, respectively. The fixed Q mode gave the better magnetic properties of the SmCo films which seems to be due to a formation of magnetically hard minor phases in droplet of Sm-rich intermetallics. However, the resultant rough surface of the SmCo films is a problem to be solved by a continued study.