

La_{2/3}Sr_{1/3}MnO₃/SiO₂/Si(100) 박막의 저-자장 터널형 자기저항변화의 두께 의존성

심인보 · 안성용 · 김철성

국민대학교 전자물리학전공, 서울 성북구 정능동 861, 136-702

(2001년 3월 20일 받음, 2001년 6월 4일 최종수정본 받음)

Water-based 졸겔 증착법을 이용하여 다결정체 La_{2/3}Sr_{1/3}MnO₃(LSMO) 박막을 2000 Å 두께의 열 산화층을 갖는 Si(100) 기판상에 제조하여 상온에서 LSMO 박막의 두께변화 따른 저 자장영역(120 Oe)에서의 터널형 자기저항 변화를 연구하였다. XRD 회절분석 결과 단일상의 페롭스카이트 결정구조임을 알 수 있었으며, RBS 스펙트럼 분석결과 박막의 조성비 La:Sr:Mn:O는 0.67:0.33:1.0:3.0임을 알 수 있었다. LSMO 박막의 자성특성 측정결과 두께 증가에 따라 포화자화는 750 Å까지 급격한 증가현상을 보이다 1500 Å를 기점으로 점차 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 보자력은 800 Å 까지 급격한 증가를 보이다 일정해지는 경향을 볼 수 있었다. 저 자장영역에서의 터널형 자기저항 변화비는 약 1500 Å의 두께 영역에서 최대값을 나타냄을 알 수 있었다. 이러한 저 자장 영역에서 LSMO 박막의 터널형 자기저항 변화비의 두께 의존성은 LSMO 박막과 Si 기판의 계면에 존재하는 상호확산 현상에 의한 dead layer의 존재 및 LSMO 박막의 열 처리시 발생하는 열 격자 변형 효과로 설명하였다.

I. 서 론

A_{1-x}M_xMnO₃ (A = La, Nd, Pr, M = Ba, Ca, Sr, Pb 등) 페롭스카이트 망간 산화물에서 초거대 자기저항 현상(colossal magnetoresistance; CMR)이 발견되어 현재 활발히 연구되고 있다[1, 2]. 망간(manganese) 이온을 함유한 페롭스카이트계 시스템에 대한 물성 연구는 1950년 Jonker[3,4]에 의하여 처음으로 연구되기 시작하였으며, 1969년 Searl과 Wang[5]에 의하여 이러한 물질들이 강자성 전이온도 T_C 부근에서 큰 음(negative)의 자기저항효과(magnetoresistance effect; MR)를 나타낸다는 것이 실험적으로 확인되어 자기저항 변화율의 온도 의존성 등에 대한 이론적 · 실험적 연구 결과가 활발하게 나타나게 되었다. 최근 망간 산화물에 대한 연구가 활발하게 추진되고 있는 또 다른 이유중의 하나는 자성체/금속다층 박막에서 거대자기저항 효과가 발견되어 이를 이용한 MR 헤드의 개발 가능성으로 말미암아 비약적인 자기기록밀도의 증가가 가능하게 되었다는 산업적 중요성을 들 수 있다. 이는 실온부근의 강자성 전이온도(T_C) 근방에서 망간 산화물들이 나타내는 큰 음의 MR 효과가 재인식되었기 때문이다. 그러나 이들 재료에서 초거대자기저항 효과는 수 테슬라 크기의 높은 외부 자장을 인가할 경우에만 그 변화비가 크며, 상온에서는 자기저항 변화비가 매우 작아 응용상의 관점에서 상온에서 저 자장 작동형의 CMR 효과 실현이 중요한 연구 과제로 남아 있다. 이러한 문제점을 극복하기

위한 방법으로 페롭스카이트형 망간 산화물을 강자성 터널접합으로의 연구가 시도되고 있다. Hwang[6] 등은 La_{2/3}Sr_{1/3}MnO₃ 다결정 분말 시료를 제조하여 다결정 시료의 자기저항 효과는 강자성 전이금속에 있어서 미세입상(granular) 합금의 자기저항 현상과 매우 유사한 터널 자기저항(tunneling magnetoresistance; TMR)효과와 관련되어 있음을 보고한바 있다. 즉 페롭스카이트계 망간 산화물을 단순히 강자성 금속의 일종으로 취급하여 지금까지 철(Fe) 등의 전이금속을 이용한 강자성 터널 접합연구를 페롭스카이트계 망간 산화물에 치환하고자 하는 연구이다. 페롭스카이트계 망간 산화물을 이용하는 가장 큰 이점은 국부적 스핀(localized spin)과 전도전자간 작용하는 강한 Hund 결합에 기인하는 큰 스핀 분극(spin polarization)이 거대한 TMR 효과를 발현시키는 데에 유리하기 때문이다.

현재 망간 산화물을 이용한 터널형 자기저항 재료에 대한 연구는 LSMO/SrTiO₃/LSMO[7] 등과 같은 다층 박막화에 집중되어 있으며, 자기 저항형 디바이스로의 활용을 위해서는 열 산화 Si 기판을 이용하여 in-plane 단층 형태로 증착하여 성장을 시키는 것이 필수적임에도 불구하고 거의 연구가 이루어지고 있지 않다. 한편, 초거대 자기저항 재료의 특징중의 하나는 CMR 효과가 두께 의존성을 갖는다는 것이다. S. Jin[8] 등은 펄스 레이저 증착법을 이용하여 증착한 La-Ca-Mn-O/LaAlO₃ 에피탁시 박막에서 약 1000 Å의 두께에서 최대의 저항변화가 나타나며, 이는 격자 변형 효과에 기인된 것으로 설명하고 있다. 자기

저항 자성박막의 두께변화에 따른 초거대 자기저항 현상의 발현에 대한 근원 규명의 연구[9-11]가 이루어지고 있으나, 현재까지 해결되지 않은 문제로 남아 있다. 특히, 저자장영역에서 초거대 자기저항 현상을 발현하고자 하는 터널형 자기저항 재료에 있어서는 페롭스카이트 산화물을 이용한 입상 형태로의 연구가 전혀 이루어지고 있지 않으며, 터널형 자기저항 현상에 영향을 미치는 제반변수에 대한 연구도 전무한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 졸-겔법을 이용하여 열 산화 $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 기판상에 130 Å~4000 Å 두께의 $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ 다결정 박막을 제조하여 상온, 저 자장영역에서 터널형 자기저항 변화의 두께 의존성에 대한 원인을 고찰하고자 하였다.

II. 실험방법

LSMO 박막 코팅용 졸을 제조하기 위한 출발물질로는 순도 99.9% 이상의 $\text{La}(\text{CH}_3\text{COOH})_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, $\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ 및 $\text{Mn}(\text{CH}_3\text{COOH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 를 이용하였으며, 초산, 에탄올 및 증류수의 혼합용매에 적정 당량비로 혼합하여 용해한 후 졸의 안정화를 위하여 β -carbonyl 계열의 acetylacetone (AcAc) IM을 착제로 첨가하여 최종적으로 0.2 몰농도의 코팅용 졸을 제조하였다. 제조된 졸은 여과공정을 거친 후 $1.2 \times 1.2 \text{ cm}$ 로 절삭한 SiO_2/Si 기판상에 4000 rpm의 속도로 30초간 회전시켜 스핀코팅 하였다. 이 박막을 80°C의 가열판에서 3분간 1차 건조를 하여 용매를 먼저 제거한 후, 200°C에서 2차 건조 및 300°C에서 3차 건조함으로써 유기물을 연소시켰다. 적정한 박막의 두께를 얻기 위하여 제조 졸을 용매와 적정비율로 희석한 후 위 공정을 반복 수행하였으며, 2°C/min의 승온속도로 산소 분위기 하에서 800°C의 온도에서 3시간 열처리시켜 LSMO 박막을 제조하였다.

LSMO 박막의 두께는 profilometer, FE-SEM(field emission scanning microscopy; Hitachi S-4200, Japan) 및 TEM(transmission electron microscopy; Philips CM-30, Netherlands) 단면 사진 분석을 통하여 확인하였으며, 박막의 결정생성 분석은 $\text{CuK}\alpha$ 복사선을 이용한 Phillip's사의 X'pert-MPD 회절분석기를 이용하였다. LSMO 박막의 결정입도(grain size), 입도분포 및 표면 거칠기와 같은 in-plane 및 단면 미세구조는 FE-SEM 및 TEM을 이용하여 관찰하였다. LSMO 박막의 조성 및 박막의 두께에 대한 정보를 얻기 위하여 2 MV Tandem형 가속기(NEC-6SDH2; KIST)를 이용하였으며, 분석시 산란각은 170 도,

분해능이 14 keV인 반도체 검출기를 사용하였으며, 입사 이온으로는 3.05 MeV H^{++} 를 이용하여 산소공명(oxygen resonance) RBS(Rutherford Backscattering) 분석을 수행하여 최종적으로 RUMP 가상(simulation) 프로그램으로 분석하였다. LSMO 박막의 자성특성은 진동시료형 자력계(VSM; vibrating sample magnetometer, Japan)를 이용하여 외부자장을 500 Oe까지 인가한 상태에서 실온에서의 자기이력곡선(hysteresis curve)을 통해 측정하였으며, 터널자기저항 변화비는 자체 제작한 4단자법 자기저항 측정장비를 이용하여 상온에서 측정하였다. 이때 박막의 크기는 $1.2 \times 1.2 \text{ cm} \times$ 두께별로 여러 가지의 박막을 선정하였으며, 외부 인가자장은 120 Oe로 박막의 표면과 전류방향에 대하여 수평으로 인가하였다.

III. 결과 및 고찰

LSMO/ SiO_2/Si 박막의 결정성 연구를 위한 XRD 회절 패턴 측정결과 LSMO 단일상의 페롭스카이트 결정구조임을 확인할 수 있었으며, Fig. 1은 LSMO 박막의 회절 패턴에서 주 피크인 (110) 피크의 박막두께 변화에 따른 강도변화를 나타내고 있다. 박막의 두께 증가에 따라서 (100) 피크의 뚜렷한 성장을 볼 수 있으며, 130 Å 두께의 LSMO 박막의 경우 거의 LSMO 결정상이 나타나지 않음을 볼 수 있다. LSMO 박막의 격자상수를 구하기 위하여

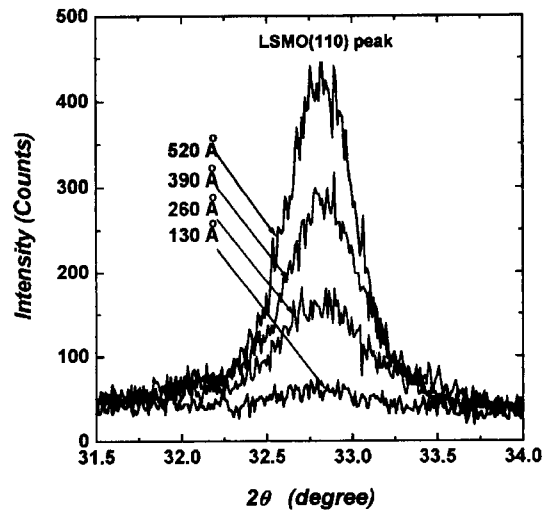


Fig. 1. Variation of LSMO (110) peaks intensity as a function of film thickness in sol-gel derived $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ thin film deposited on $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ substrate annealed at 800°C in O_2 for 3 h.

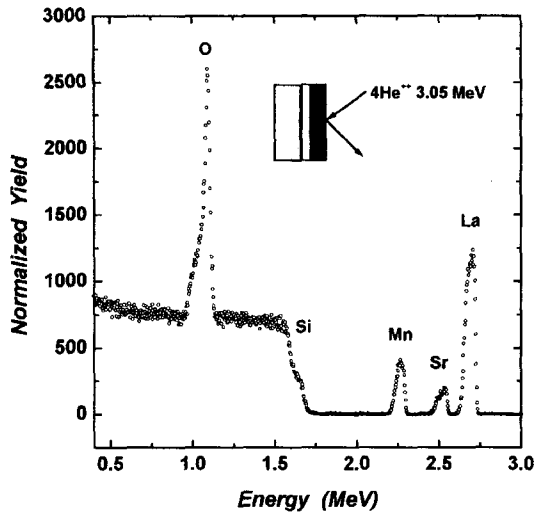


Fig. 2. Oxygen resonance Rutherford backscattering spectra of sol-gel derived $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ thin film deposited on $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ substrate annealed at 800°C in O_2 for 3 h.

XRD 회절분석 피크의 정확한 회절각은 $\text{K}\alpha_2$ 스트리핑과 곡선 맞춤을 통하여 Talyor-Sinclair[12]의 식을 이용하여 계산하였다.

박막의 두께 증가에 따라서 격자상수는 $a_0 = 3.871 \text{ \AA}$ 에서 3.878 \AA 으로 약간씩 증가함을 볼 수 있으며, LSMO 분말 값 $a_0 = 3.880 \text{ \AA}$ 보다 작게 나타나고 있다. 이러한 격자상수의 변화는 자기저항 거동에 영향을 미치리라 판단되며, 실제로 S. Jin[8]등은 레이저 증착법을 이용하여 La-Ca-Mn-O 시스템을 다결정질 YSZ 기판상에 증착하거나 격자불일치가 큰 MgO나 Si와 같은 기판상에 증착할 경우 격자상수의 변형 효과로 인하여 자기저항 거동이 변화함을 보고한 바 있다.

일반적으로 초거대 자기저항 재료에서 산소결핍(oxygen deficient)은 자기저항 특성에 지대한 영향을 미치므로 본 연구에서는 정확한 산소 조성비 검출을 위해 산소공명 RBS 분석법을 이용하였다. Fig. 2는 $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 기판상에 증착한 LSMO 박막의 RBS 스펙트럼을 나타내고 있다. RUMP 분석결과 LSMO 박막의 두께는 1500 \AA 이었으며, 박막의 조성비 La:Sr:Mn:O는 $0.67:0.33:1.0:3.0$ 이었다. 컴퓨터 모의 실험 결과와 원시 데이터 사이의 피팅 결과 정확하게 일치함을 알 수 있었다. 산소 피크의 경우 기판의 SiO_2 에서 유도된 것과 LSMO 박막으로부터 유도된 것의 중첩으로 나타나고 있음을 알 수 있다. 한편 SiO_2/Si 층과 LSMO층 사이의 계면에서 곡선의 기울기가 약간 변화함을 볼 수 있는데 이는 계면에서 상호확산에 의한 결과로

박막의 깊이에 따른 AES 깊이 분석결과 기판으로부터 약간의 Si 확산현상을 볼 수 있었다. 이러한 확산에 의한 반응층은 결과적으로 자성 박막층의 두께 감소를 수반하게 되므로 자기저항 특성에 영향을 미치리라 예상할 수 있다.

Fig. 3은 $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 기판상에 증착된 LSMO 박막의 두께변화에 따른 표면의 미세구조 변화를 나타내고 있다. SEM 사진에서 보듯이 130 \AA 의 박막의 경우[Fig. 3(a)] LSMO 입자의 성장은 대단히 불균일하고 과대 성장한 입자들이 불규칙하게 자리잡고 있으며, 박막의 두께를 약 400 \AA 증착한 경우[Fig. 3(b)] 거의 원형 모양의 입자들이 비교적 균일하게 분포함을 알 수 있다. 박막의 두께가 500 \AA 이상 증착시에는[Fig. 3(c)] 균일한 입자성장 및 입자간 연결도가 증진됨을 알 수 있었으나, 입자크기는 약 400 \AA 의 범위에서 크게 변화하지 않음을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 페롭스카이트 망간산화물의 저 자장 영역에서의 터널형 자기저항 현상은 입계를 통한 전자의 터널 확률에 근거를 두고 있으므로 박막내 미세구조의 변화는 큰 영향을 미치리라 판단되지만, LSMO 박막의 두께 변화에 있어서는 500 \AA 이상의 경우 결정립 크기 및 결정립 분포등의 미세구조적 변화가 거의 없으므로 박막의 두께에 따른 저항 변화가 미세구조 변화에 따른 결과로 판단하기에는 적절하지 못하다고 판단된다.

Fig. 4는 $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 기판상에 증착된 LSMO 박막의 두께를 130 \AA 에서 3000 \AA 까지 변화시키면서 제조하여 500 Oe 의 외부자장을 인가하면서 실온에서 측정된 자기 이력곡선으로부터 얻은 보자력(H_c) 및 자화값(M_s)의 변화를 나타내고 있다. 보자력 값은 LSMO 두께를 130 \AA 에서 500 \AA 까지 증가시킴에 따라서 서서히 증가하다가 500 \AA 이상에서는 급격하게 증가한 후 LSMO 자성층의 두께가 800 \AA 이상이 되면서 거의 일정해짐을 볼 수 있다. 이러한 보자력의 거동은 LSMO 자성층 박막의 두께가 증가함에 따라서 독립적으로 분리된 결정립 성장이 발달하여 안정한 단자구(single-domain) 구조로 되어 보자력은 증가하게 되며, 자성층 두께의 지속적인 증가는 결정립 증가를 초래하고 이러한 결과로부터 보자력은 다시 감소하게 되는 것으로 생각할 수 있다. 자성층의 두께가 얇은 경우 Fig. 3의 SEM 분석결과에서와 같이 자성층이 완전한 연속 박막을 형성하지 못하고 결정입자가 독립적으로 분리되어 있는 결과로 이해될 수 있으며, 결과적으로 박막의 두께가 500 \AA 이하의 경우 초상자성(superparamagnetic) 특성을 갖게 되어 자기저항 재료로서의 활용을 위해서는 최소한 박막의 두께가 800 \AA 이상으로 구성되어야 함을 알

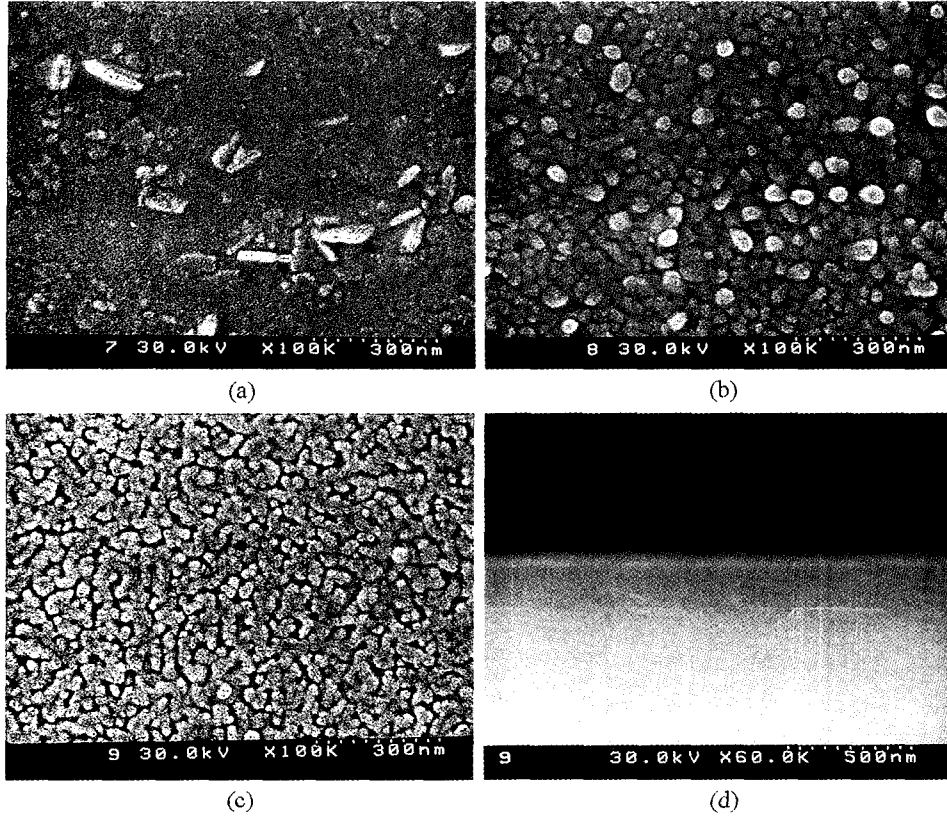


Fig. 3. SEM microstructure of $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ thin films deposited on $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ substrate as a function of film thickness (a) 130 Å, (b) 390 Å, (c) 520 Å, and (d) cross-sectional view.

수 있다. 자화(magnetization)값은 포화자화값($H = 2000$ Oe)의 약 72 % 값을 나타내었으며, 750 Å까지 급격한 증가현상을 보이다 1500 Å을 기점으로 점차 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

Fig. 5(a)는 최대의 터널형 자기저항 변화비를 나타내고 있는 1500 Å의 두께를 갖는 LSMO/ $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 박막을 이용하여 상온에서 측정된 120 Oe의 저 자장 영역에서 전형적인 터널형 자기저항 변화곡선을 나타내고 있다. In-plane 결정립을 갖는 다결정 박막에서 외부 자장이 인가되지 않는 경우 각 결정립 내부에서의 자화방향은 이들 결정립들이 비록 강자성체라 할지라도 무질서한 방향을 취하고 있으며, 결정입계 영역의 각각 자성 스핀들 역시 자유로운 배열로 존재하게 된다. 그러나 저 자장의 외부자장을 인가하면, 각 결정립 및 결정 입체들의 스핀 자화방향은 인가자장에 평행하게 배열을 시작하게 되어 저항의 변화를 유도함으로써 터널형 자기저항 변화가 나타난다. 그림에서와 같이 자기저항 변화가 이력거동을 보이는 이유

는 상대적으로 높은 자장영역에서 두 인접한 강자성체의 자화는 포화되며, 자화의 방향은 인가자장과 평행한 배열을 취하게 된다. 그러므로 전자가 하나의 결정립에서 이웃한 결정립으로 터널될 확률이 증가하게 되어 저항의 감소가 나타난다. 외부 인가자장을 $H = 0$ 로 감소시키게 되면 인접한 두 결정립은 서로에 대하여 반평행한 자화방향을 갖게 되고, 따라서 전자의 터널확률이 감소하여 저항의 증가현상이 나타난다. 연속해서 인가 자장을 반대의 부호로 증가시키면 위와 같은 효과가 발생되므로 이력거동을 보이게 된다.

Fig. 5(b)는 LSMO 박막의 두께를 130 Å에서 4000 Å까지 변화시키면서 측정된 터널형 자기저항의 두께 의존성을 나타내고 있다. 그림에서와 같이 자기저항 변화비는 강한 두께 의존성을 보이고 있으며, 1500 Å에서 0.30 %로 최대값을 나타내었다. 이러한 LSMO 박막의 터널형 자기저항 변화의 두께 의존성에 영향을 미치는 요인으로는 박막의 열 격자 변형 변화와 불완전한 박막의 성장 및

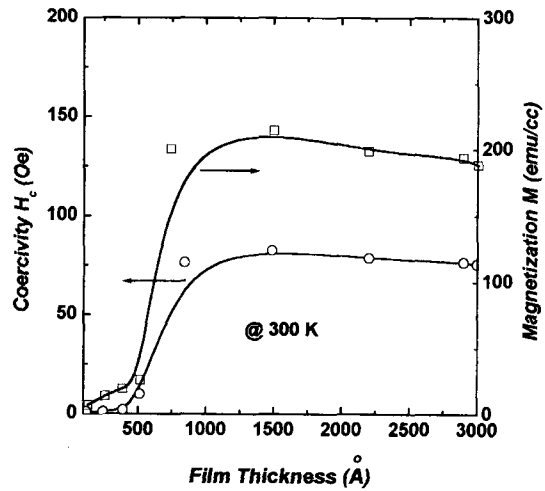


Fig. 4. Variation of coercivity (H_c) and magnetization (M_s) of the $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ thin film deposited on $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ as a function of film thickness measured at 300 K.

dead layer의 존재를 들 수 있다. 먼저, 박막의 두께 변화에 의한 열 격자 변형의 효과를 고려하면, XRD 회절분석에서 나타난 격자상수의 증가 현상은 박막내 산소결합이나 열처리 공정 등에서 유도되는 열 변형 효과에 의한 것으로 생각할 수 있으나, 산소 결합은 산소공명 RBS 분석 결과 존재를 확인할 수 없었다. 따라서 LSMO 박막에서의 격자상수 변화는 열 변형 효과에 의한 격자의 변형에 기인된 것으로 판단되며, 이러한 결과로부터 자기저항 변화의 두께 의존성은 박막의 열 변형에 의한 격자 변형 효과에 직접적인 관련을 가짐을 확인할 수 있었다. 따라서 페롭스카이트 망간 산화물을 이용한 저 자장 영역에서의 터널형 자기 저항거동은 페롭스카이트 격자상수에 영향을 미치는 열처리등의 제조조건 최적화에 밀접한 관계를 가짐을 제시하고자 하며, 격자상수는 페롭스카이트 결정구조에서 원자간 거리와 결합각에 영향을 미치므로, 음이온에 의하여 분리된 두 양이온사이의 자기적 또는 전기적 상호작용에 영향을 미치기 때문이다.

두 번째로 고려할 요인은 불완전한 박막 성장에 따른 터널형 자기저항 거동의 두께 의존성이다. 이는 Fig. 3에서 보듯이 500 Å 이하의 두께를 갖는 박막의 경우 불완전한 결정상이 생성됨을 확인할 수 있었는데, 이러한 결과는 Fig. 4에 나타난 자성특성 측정 결과에서 볼 수 있듯이 박막의 두께가 500 Å 이하의 경우 초상자성(superparamagnetic) 특성을 갖게 되기 때문인 것으로 판단된다. 또 다른 원인은 화학적 또는 구조적으로 변화된 LSMO 박막과

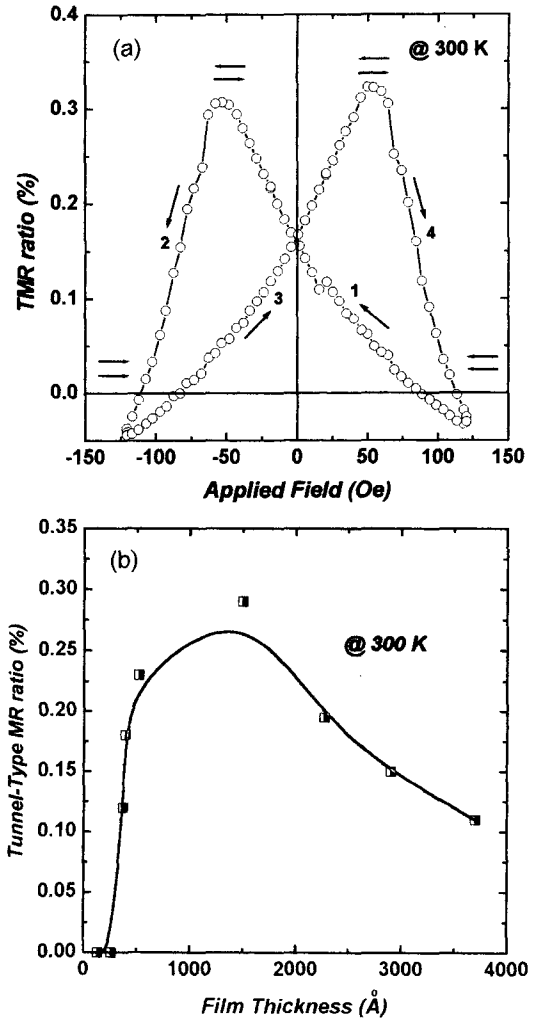


Fig. 5. (a) Typical tunnel-type magnetoresistance curve of sol-gel derived $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ thin films, and (b) variation of tunnel-type MR as a function of film thickness measured at 300 K.

Si(100) 기판사이의 계면층에서 발생하는 상호확산 현상의 결과로 생성된 dead layer의 존재 효과이다. 박막과 계면 사이에 존재하는 dead layer는 결과적으로 자성 박막의 두께를 전체적으로 감소시켜 전반적인 재료의 전·자기적 물성 저하에 영향을 미치게 된다. 최대값의 자기저항 효과를 나타내는 1500 Å의 두께의 LSMO/SiO₂/Si(100) 박막과 기판사이 dead layer의 존재를 확인하기 위한 단면 TEM 이미지를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서 보듯이 SiO₂/Si층과 LSMO 층사이에는 전체적으로 균일한 dead layer가 존재함을 확인할 수 있다. 따라서 SiO₂/Si 기판상



Fig. 6. TEM photograph of the sol-gel derived $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ thin film on $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ substrate.

에 고품질의 자기저항 박막을 성장시키기 위해서는 이러한 dead layer의 생성을 억제시킬 수 있는 적절한 중간층의 도입이 필수적임을 제안하며, 본 연구자들은 YSZ 중간층을 도입하여 dead layer 생성을 억제함으로써 자기저항 특성을 향상시킨 결과를 발표한 바 있다[13].

IV. 결 론

Water-based 졸겔법을 이용하여 다결정체 $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ (LSMO) 박막을 $\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ 기판상에 제조하여 상온, 저 자장영역(120 Oe)에서의 터널형 자기저항 변화의 두께 의존성을 연구하였다. 터널형 자기저항 변화비는 강한 두께 의존성을 나타내었으며, 이러한 두께 의존성은 Si(100) 기판과 LSMO 박막사이의 상호확산 현상에 의한 dead layer의 존재 및 LSMO 박막의 열처리시 발생된 열 변형에 의한 격자 변형 효과와 불완전한 결정상의 생성에 의한 초상자성(superparamagnetism)특성의 복합적인 요인에

의하여 발생됨을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단(97-0702-0401-5)과 교육부 BK21 지원에 의한 것이며 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] R. von Helmholt, J. Wecker, B. Holzapfel, L. Schult, K. Samwer, *Phys. Rev. Lett.*, **71**, 2331(1993).
- [2] S. Jin, H. Tiefel, M. McCormack, R. A. Fastnachi, R. Ramesh, and L. H. Chen, *Science*, **264**, 413(1994).
- [3] G. H. Jonker, and J. H. Vu Santen, *Physica*, **16**, 337(1950).
- [4] G. H. Jonker, *Physica*, **22**, 707(1956).
- [5] C. W. Searl, and S. T. Wong, *Can. J. Phys.* **47**, 2703 (1969).
- [6] H. Y. Hwang, S-W. Cheong, N. P. Ong, and B. Batlogg, *Phys. Rev.*, **B77**(10), 204(1996).
- [7] J. Z. Sun, W. J. Gallagher, P. R. Dunconbe, L. Krusin-Elbaum, R. A. Altman, A. Gupta, Yu Lu, G. Q. Gong, and Gang Xiao, *Appl. Phys. Lett.*, **69**, 3266(1996).
- [8] S. Jin, H. Tiefel, M. McCormack, H. M. O'Bryan, L. H. Chen, R. Ramesh, and D. Schurig, *Appl. Phys. Lett.*, **67**(4), 557(1995).
- [9] G. Harzheim, J. Schubert, L. Beckers, W. Zander, D. Meertens, C. Osthover, and Ch. Buchal, *Mater. Scie. and Eng.*, **B56**, 147(1998).
- [10] R. B. Praus, B. Leibold, G. M. Gross, and H.-U. Habermair, *Appl. Sur. Scie.*, **138-139**, 40(1999).
- [11] J. Z. Sun, D. W. Abraham, R. A. Rao, and C. B. Eom, *Appl. Phys. Lett.*, **74**(20), 3017(1999).
- [12] B. D. Cullity, *Elements of X-ray Diffraction* Second edition, John & Wiley (1990), P434.
- [13] I. B. Shim, Y. J. Oh, and S. Y. Choi, *J. Kor. Magnetic Soc.*, **9**(6), 306(1999).

Thickness Dependence of Low-Field Tunnel-Type Magnetoresistance in $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3/\text{SiO}_2/\text{Si}(100)$ Thin Films

In-Bo Shim, Sung-Yong An, and Chul Sung Kim

Dept. of Electronic Physics, College of Natural Science, Kookmin University Seoul 136-702, Korea

(Received 20 March, 2001, in final form 4 June, 2001)

Polycrystalline thin films of $\text{La}_{2/3}\text{Sr}_{1/3}\text{MnO}_3$ (LSMO) were prepared by water-based sol-gel processing on thermally oxidized Si(100) substrate. The thickness dependence of the low-field tunnel-type magnetoresistance properties at room temperature was studied. Tunnel-type magnetoresistance at low-field is found to be strongly dependent on film thickness. Maximum value of tunnel-type magnetoresistance of LSMO thin films was appeared at the film thickness of ~ 1500 Å. This behavior can be explained in terms of dead layer between LSMO thin film and Si(100) substrate and thermal lattice strain effect in the LSMO thin films.