Journal of the Korean Ceramic Society
Vol. 31, No. 6, PP. 643~650, 1994.

Reactive RF 마그네트론 스퍼터링법으로 Si(100) 기판에 MgO박막 제조시 증착변수의 영향

이영준 · 백성기
포항공과대학교 재료 · 금속공학과
(1994년 4월 11일 접수)

Effects of Deposition Parameters on MgO Thin Films on Si(100) Substrates by Reactive RF Magnetron Sputtering

Y. J. Lee and S. Baik
Pohang University of Science and Technology (POSTECH)
Department of Materials Science and Engineering
(Received April 11, 1994)

요 약

[100]방향으로만 배향된 MgO박막을 (100)평면의 Si단결정 기판에 reactive RF 마그네트론 스퍼터링법으로 제조하였다. 기판온도, 가스압력, RF전력 및 가스조성에 따른 박막의 증착특성을 조사하였다. 기판의 온도가 높을수록, 가스압력이 낮을수록 우수한 결정성을 가진 박막을 얻을 수 있었다. 박막의 특성에 대한 RF전력과 가스조성의 영향은 매우 복합적으로 연결되어 있었다. 여러가지 증착변수의 변화에 의해 박막의 물성은 매우 크게 바뀌었으며, 박막의 표면이 편평하고 결정성이 뛰어난 최상의 박막제조 조건은 기판온도가 600℃, 가스압력이 10 mtorr, RF전력이 2 W/cm^2, 그리고 산소가스의 비율이 10%였다.

ABSTRACT

Highly [100]-oriented MgO thin films were deposited on Si(100) single crystal substrates by reactive RF magnetron sputtering. The effects of substrate temperature, gas pressure, RF input power, and gas composition on the characteristics of MgO thin films were studied. The higher substrate temperature and the lower operating pressure were, the better crystallinity of the deposited MgO thin films were. The influences of the RF input power and oxygen to argon ratio were very complex. The physical characteristics of the films changed dramatically with deposition conditions. Highly smooth and epitaxial MgO films were obtained at the deposition conditions as follows: subatrate temperature, 600℃; operating pressure, 10 mtorr; RF input power density, 2 W/cm^2; the percentage of oxygen, 10%.

1. 서 론

최근 강유전재료가 갖고 있는 강유전성, 압전성, 초전성, 광학적 특성과 함께 덩어리(bulk) 형태에 비해 낮은 작동전압, 가벼운 무게, 작은 크기 등의 박막형태가 가지는 장점 때문에, $PbTiO_3$, PZT, PLZT 등의 Pb계 강유전체 박막을 이용하여 비휘발성 기억소자, 압전소자, 적외선센서, 광도파로 등 여러가지 기능성 소자로서 사용하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다[1-3].

박막형태의 Pb계 강유전체 재료를 이용하여 좋은 물성의 소자를 얻기 위해서는 박막을 c축 방향으로 단결정성장시킬 필요가 있다. 이렇게 성장시킨 박막은 다결정 박막에 비하여, 비휘발성 기억소자로 사용될 경우 poling이나 작동중 분극이 바뀔때 생기는 스트레스가 적으며, 적외선센서에서 초전효과가 증가되고, 특히 광도파로 등의 광학소자로 쓰일 때 광학적 손실을 줄여준다[4].

강유전체 박막의 c축 단결정성장은, 지금까지는 격자상수가 유사하며 결정구조 또한 유사하거나 같은 MgO,

$SrTiO_3$ 등의 산화물 기판을 사용하여 여러가지 증착방법을 이용하여 시도되어져 왔다[2]. 그러나 이들 재료의 가격이 비싸며 실제 소자로 사용하기 위해서는 Si, GaAs와 같은 반도체 기판위에 직접 증착시켜야 할 필요가 있다. 그러나 반도체 기판위에 직접 증착시킬 경우, 증착에 필요한 높은 기판온도와 계면에서의 상호확산 때문에 이차상이 생성되어 물성이 저하된다[4]. 또한 가시광선과 적외선영역에서 반도체의 광학적 손실이 매우 크며, 굴절률이 Pb계 강유전체보다 크기 때문에 광학소자로서 사용할 수가 없다[5].

이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 기판과 박막의 중간에 완충층을 제조함으로써 상호확산을 제어하여 보다 나은 물성의 박막을 얻는 방법이 있다. 산화물로서 완충층으로 쓰일 수 있는 Y_2O_3, ZrO_2, $MgAl_2O_4$, MgO 등[5]의 재료들 중, 특히 MgO에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. MgO는 강한 이온성 산화물로서 화학적으로 안정하고, {001}평면에 대해서 낮은 표면에너지를 가지고 있으며, 격자상수가 4.21 Å인 NaCl 구조를 가지고 있기 때문에, 약 3.9 Å의 격자상수를 가지고 페롭스카이트 구조인 Pb계 강유전체 박막의 기판으로 널리 사용되고 있다. 또한, 굴절율도 6328 Å에서 1.73으로 강유전체 재료보다 낮기 때문에 광학소자로서 응용이 가능하다.

MgO는 전자빔 증착법[6,7], reactive RF 마그네트론 스퍼터링법[5], 펄스 레이저 증착법[4] 등의 다양한 방법으로 GaAs기판위에 단결정에 가까운 박막으로 성장시킬 수 있다고 보고되는 반면에, Si기판의 경우에는 펄스 레이저 증착법[8]이 보고되고 있을 뿐이다. 그런데, 펄스 레이저 증착법은 좋은 물성의 박막제조에는 용이하나, 고가의 장비가 필요하며 비교적 큰 면적의 기판위에서는 균일한 박막을 얻기가 어렵다. 따라서 보다 넓은 면적에 양질의 박막을 얻을 수 있는 스퍼터링법에 의한 MgO박막 증착에 대한 연구가 필요하다.

기존의 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용한 Si기판 MgO박막 제조에 관한 연구들은 특정증착변수에 대한 물성변화를 제한적으로 밝힌 것이다. 또한 reactive RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용한 박막증착에 대해서는 기판온도의 변화에 따른 박막의 성장방향에 대한 연구만이 보고되어 있을 뿐이다[9].

본 연구에서는 여러분야에서 널리 응용이 가능한 Pb계 강유전체 박막을 c축 방향으로 epitaxy성장시켜 실제 소자에 사용하기 위하여 필요한 완충층으로서, MgO를 선택하여 Si기판위에 증착하였다. 이때 증착방법으로는 스퍼터링 증착법 중에서 reactive RF 마그네트론 스퍼터링법을 사용하였다. 스퍼터링 증착에서 박막의 물성에 큰 영향을 미치는 기판온도, 가스압력, RF전력, 가스의 혼합비등의 증착변수를 변화시키면서 각각의 증착변수에 따른 박막의 물성변화를 규명하고자 하였다. 또한 최적의 박막조건을 구하여 reactive RF 스퍼터링법을 사용해서 제작한 MgO박막의 완충막으로서의 가능성을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1. 타겟

MgO박막을 증착하기 위한 스퍼터링 타겟으로 99.99 %의 순도를 가진 50.8 mm 지름과 6.35 mm 두께의 Mg 금속(미국 CERAC INC.)을 사용하였다.

2.2. 기판 준비

기판으로 사용한 Si은 [100]방향의 단결정으로 phosphorous가 도핑된 n-type 반도체로 비저항이 2~20 Ω·cm이며 두께는 455~555 μm이다. 본 실험에 사용하기 위하여 1 cm×1 cm의 크기로 절단하였다. 절단된 Si은 trichloroethylene, acetone, methyl alcohol 용액속에서 차례로 각각 20분씩 초음파 세척하였으며, 5% HF 수용액에 2분 동안 담궈 Si 표면에 존재하는 자연 산화막을 제거한 다음, 탈이온수로 각각 1분씩 두번 세척한 후 공기총으로 물기를 제거한 즉시 챔버에 장착하였다.

HF처리를 통하여 기판표면의 Si과 dangling bonding을 하고 있는 H 원자와 F 원자들은 기판이 공기중의 산소와 반응하여 산화막을 형성하는 것을 막아준다[10].

2.3. 박막증착

MgO박막은 실험의 목적에 부합하기 위해서 기판온도, 가스압력, 혼합가스의 비율, RF전력 등을 변화시키면서 reactive RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용해 증착하였다.

우선 기판을 기판히터위에 장착한 후 챔버내의 압력을 6×10^{-6} torr 이하로 만든 다음 기판을 400℃ 이상 가열하여 기판표면에서 Si과 결합하고 있는 H 및 F원자를 제거하였다. 이후 기판을 원하는 온도로 조절한 다음 산소가스와 아르곤가스를 주입한 후 전력을 가하여 플라즈마를 형성시켰다. pre-sputtering을 5분 이상 한 후 기판과 타겟 사이에 설치한 셔터를 열어 2시간 동안 증착하였으며 증착 이후에는 플라즈마를 끈 후에 가스의 주입을 차단하고 진공하에서 온도를 내린 후 venting시켰다. 증착조건과 증착변수들은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Summary of Sputtering Conditions

Substrate temperature	50~700℃
Pressure	10~50 mtorr
Ar/O_2 ratio	10/90-90/10
RF input power density	2~5 W/cm^2
Substrate-Target distance	70 mm
Deposition time	2 hours

2.4. 시편분석

증착된 박막의 상을 분석하기 위해서 X-선 회절분석기를 이용하였다. 박막의 두께와 굴절율을 구하기 위해서 6328 Å의 파장을 가진 He-Ne laser ellipsometer를 이용하였으며 보다 신빙성있는 값을 얻기 위하여 서로 다른 세군데를 측정하여 평균값을 취하였다. Ellipsometer로 측정했을 경우에 두께의 값이 최소값을 시작으로 특정한 값(cycle thickness)이 연속해서 더해지는 값들을 가지게 되므로 α-step 실험을 병행하여 정확한 값을 얻었다.

박막의 표면과 단면의 미세구조를 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 관찰하였으며, 박막의 조성을 조사하기 위해서 ESCA(electron spectrometry for chemical analysis)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 증착변수의 변화에 따른 증착특성의 변화

3.1.1. 기판온도의 영향

Fig. 1은 온도변화에 따른 박막의 증착속도와 MgO(200) 평면에 대한 회절강도를 박막의 두께로 나누어 보정한 값을 나타낸 것이다. XRD 실험결과 증착된 박막은 기판의 온도변화에 관계없이 [100]방향으로만 성장하였다.

증착속도는 기판의 온도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 박막의 증착은 기판에 흡착된 Mg원자와 O원자가 탈착되기 전에 기판위에서 이동하여 에너지적으로 안정한 격자위치로 찾아가는 것이라고 볼 수 있다. 그런데, 기판위에 흡착된 박막이 탈착하기까지 기판위에 존재할 수 있는 시간은 기판의 온도증가에 따라 지수함수적으로 감소하는 반면에[11], 기판위에서 이동할 수 있는 능력은 기판의 온도증가에 따라 지수함수적으로 증가한다. 따라서 기판의 온도가 증가함에 따라 기판위에서 이동할 수 있는 능력이 증가되어 에너지적으로 안정한 위치를 충분히 찾아갈 수 있기 때문에 박막의 결정성은 온도가 증가함에 따라 증가한다. 이러한 사실은

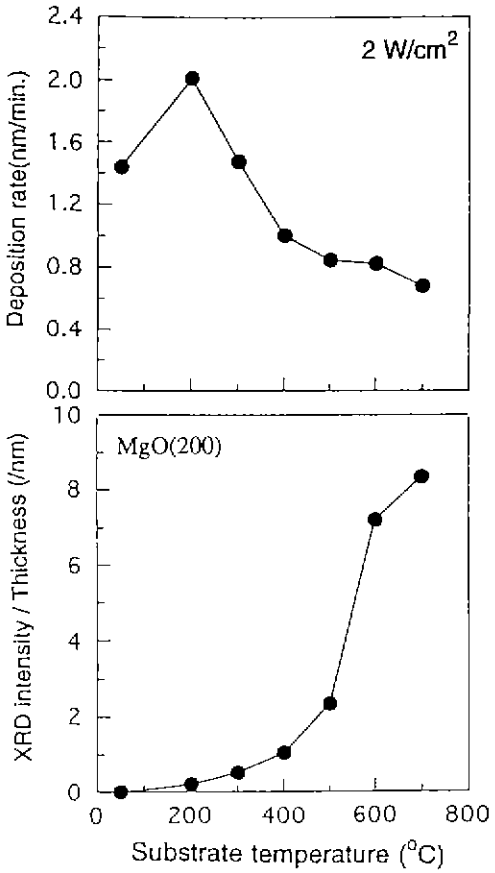

Fig. 1. Variations in deposition rate and normalized XRD intensities of MgO(200) as a function of substrate temperature. The deposition conditions are; pressure: 10 mtorr, RF input power density: 2 W/cm^2, Ar/O_2: 50/50.

MgO(200) 피크의 세기가 온도증가에 따라 증가하는 결과와 일치한다.

Fig. 2는 기판온도의 변화에 따른 MgO박막표면의 미세구조를 보이고 있다. 모든 경우의 박막에서 기판전체 영역(1 cm×1 cm)에 박막이 고르게 증착되었다. 50℃에서 증착된 박막의 표면은 매우 거칠며, 불균일한 결정립으로 구성되어 있고, 커다란 공동도 관찰할 수 있다. 반면에 600℃에서 증착된 박막은 매우 균일하고 미세한 결정립으로 구성되어 있다.

3.1.2. 압력변화의 영향

Fig. 3은 압력변화에 따른 박막의 증착속도와 MgO(200) 평면에 대한 회절강도를 나타낸 것이다. 압력변화에 따른 증착속도의 변화는 일반적으로 압력변화에 따라 이온화되는 아르곤의 양과 mean free path의 변화로

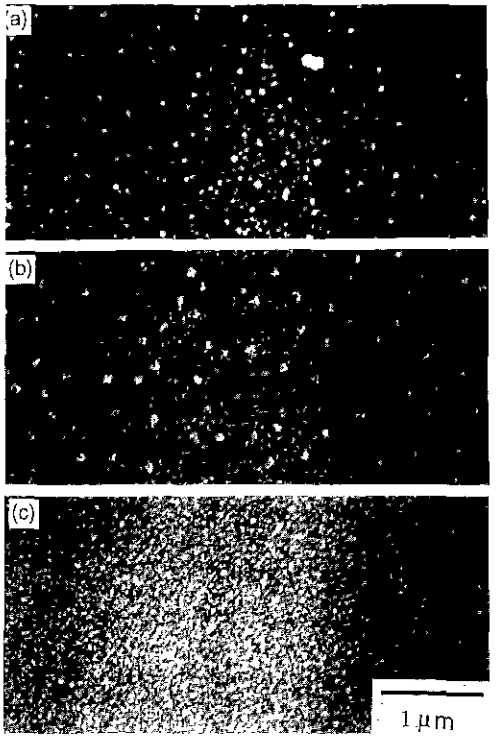

Fig. 2. SEM micrographs of MgO thin films deposited at (a) 50℃, (b) 400℃, and (c) 600℃ of substrate temperature. The deposition conditions are, pressure: 10 mtorr, RF input power density: 2 W/cm^2, Ar/O_2: 50/50.

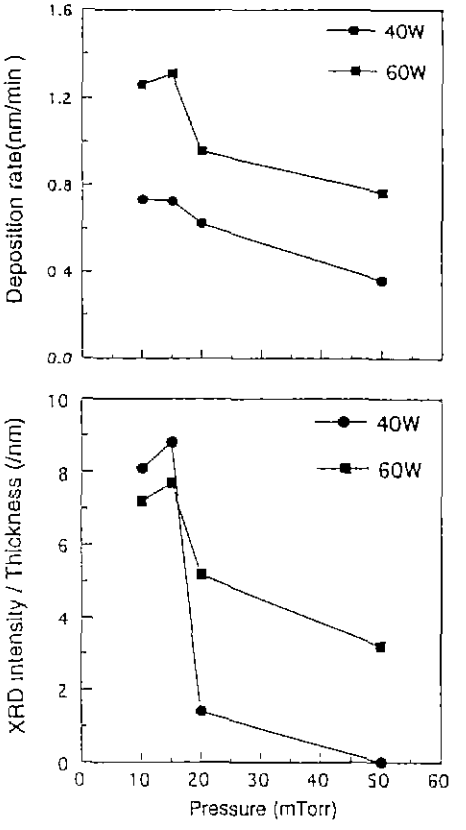

Fig. 3. Variations in deposition rate and normalized XRD intensities of MgO(200) as a function of pressure The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, RF input power density: 2, 3 W/cm^2, Ar/O_2: 50/50.

설명할 수 있다. Mg원자가 타겟에서 떨어져 나오는 양은 일반적으로 압력이 증가할수록, 즉 아르곤 이온의 양이 증가할수록, 증가한다. 반면에 떨어져 나온 원자들이 기존의 에너지를 가진채, 얼마나 많은 양이 기판에 도달할 수 있는가 하는 것은 mean free path의 문제로, 이는 압력이 감소할수록 증가한다[12]. 본 실험의 경우, 챔버내의 기체가 이상기체 방정식을 만족시키고, 기체분자의 크기가 3 Å이라고 가정할 때, 10 mtorr에서는 타겟에서 떨어져 나온 입자가 기체분자와 충돌없이 70 mm 떨어진 기판에 도달할 확률이 11%인 반면에 50 mtorr에서는 1.8 $\times 10^{-1}$%에 불과하다 따라서 압력이 높은 경우 대부분의 입자들은 산란되어 기판까지 도달하지 못하며, 도달한 Mg원자들도 타겟에서 떨어질때 가진 에너지를 거의 가지고 있지 못하기 때문에 우수한 물성의 박막이 되기 어려움을 예상할 수 있다. 이는 압력이 증가함에 따라 증착속도가 감소하는 경향을 보이는 결과와 일치한다. 또한 박막의 결정성을 나타내는 X선 회절강도는 압력이 낮을 수록 더 높은 값을 나타낸다. 이는 앞에서 설명한 바와 같이 압력이 낮을수록 보다 높은 에너지를 가진 Mg원자들이 기판에 도달하기 때문으로 판단된다.

Fig. 4는 압력변화에 따른 박막표면의 미세구조이다. 50 mtorr에서 증착된 박막은 수백 nm 크기의 결정립으로 형성되어 있고, 입계의 구분이 뚜렷하지 않으며, 표면 또한 균일하지 못하다 이보다 낮은 압력에서 증착된 박막은 압력변화에 따른 큰 차이없이 수십 nm의 매우 작은 결정립으로 구성되어 있다.

4.3. RF전력의 변화에 따른 박막의 특성변화

Fig. 5는 RF전력변화에 따른 증착속도를 나타낸 것이다. 증착속도는 압력의 변화에 관계없이 RF전력이 3 W/cm^{2}일 때 최대값을 가졌다. 이는 RF전력이 증가함에 따라서 sputter yield의 증가율은 점차 감소하는 반면에,

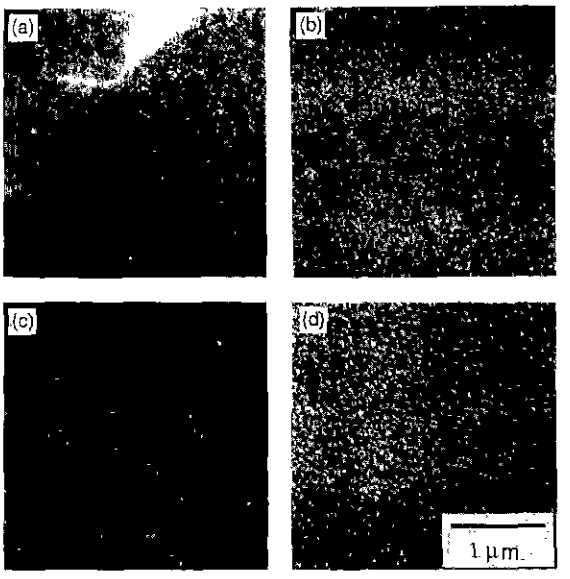

Fig. 4. SEM micrographs of MgO thin films deposited at (a) 50 mtorr, (b) 20 mtorr, (c) 15 mtorr, and (d) 10 mtorr. The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, RF input power density: 2 W/cm², Ar/O_2: 50/50.

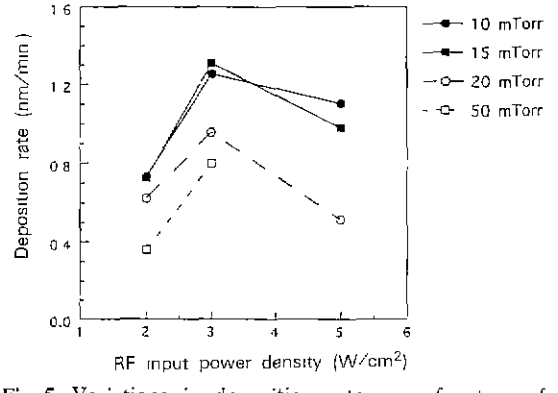

Fig. 5. Variations in deposition rate as a function of RF input power. The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, Ar/O_2: 50/50.

타겟에서 튀어나오는 음이온과 전자들은 타겟과 플라즈마 사이에 걸리는 높은 전압차이로 인해 기판에 충돌하여 resputtering을 일으키는 효과는 증가하기 때문이다. 이러한 박막표면의 미세구조를 관찰한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. RF전력이 상대적으로 큰 5 W/cm²에서 증착한 경우, resputtering 효과로 인해 요철이 심한 표면이 형성되었음을 알 수 있다. 또한 사각형 형태의 각이 진

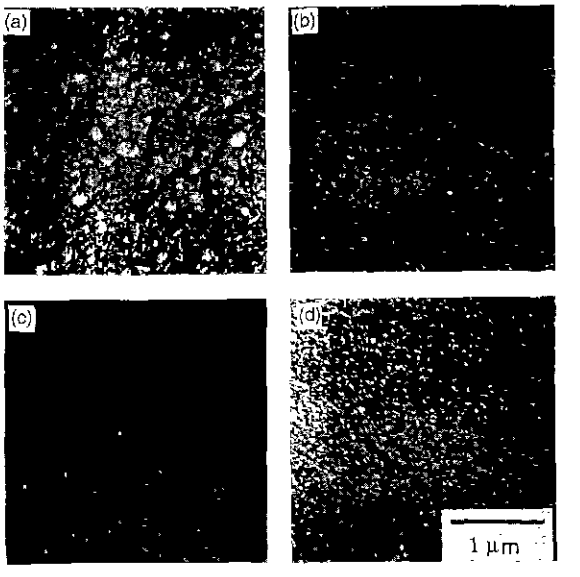

Fig. 6. SEM micrographs of MgO thin films deposited at (a) 5 W/cm², (b) 4 W/cm², (c) 3 W/cm², and (d) 2 W/cm². The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, pressure: 10 mtorr, Ar/O_2: 50/50.

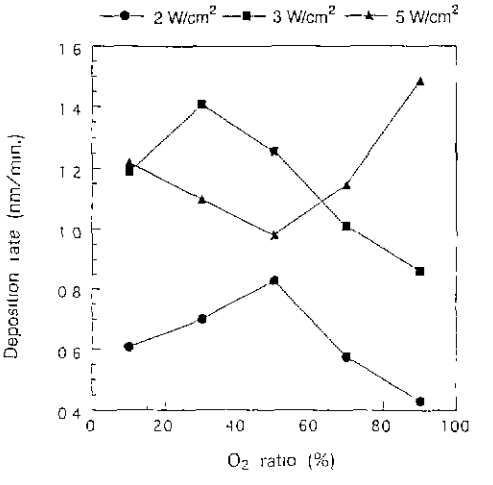

Fig. 7. Deposition rate at different RF input power and Ar/O_2 ratio. The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, pressure: 10 mtorr.

모양을 가진 결정형태가 관찰되며, 상대적으로 결정립의 크기가 가장 크다. 4 W/cm²에서 증착한 경우에는 결정립의 크기가 감소하나, 각이 진 결정립의 형태를 유지하고 있다. 그 보다 낮은 RF전력에서 증착된 박막에서는 결정립의 크기가 현저하게 작아진다

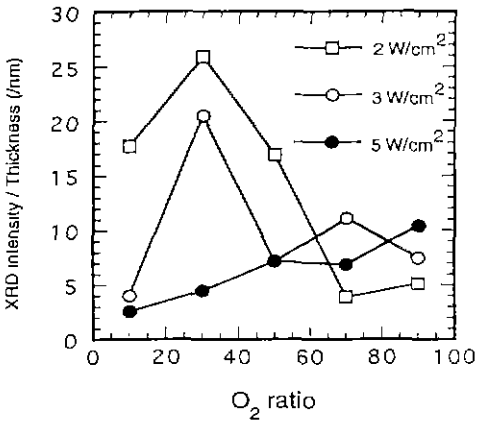

Fig. 8. *Normalized XRD intensity of MgO(200) peak* at different RF input power and Ar/O_2 ratio. The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, pressure: 10 mtorr.

3.1.4. 산소분압의 영향

Fig. 7은 RF전력이 바뀔때 산소분압이 증가함에 따른 박막의 증착속도를 나타낸 것이며, 증착된 박막의 회절강도는 Fig. 8에 나타내었다.

아르곤가스의 양이 감소하면 타겟에서 떨어져 나오는 Mg원자의 양이 감소하며, 산소가스의 양이 증가함에 따라 타겟표면의 Mg원자와 산소가스가 반응하여 금속의 경우에 비해 결합에너지가 큰 MgO층이 형성되어 sputter yield가 급격히 감소하게 된다[1,9]. 또한 산소분압의 변화에 따라서 기판에서 일어날 수 있는 변화도 크게 세가지가 있을 수 있다. 첫째, 산소가스의 양이 증가하면 기판의 표면에 흡착, 탈착하는 산소의 양이 증가하기 때문에 Mg원자가 흡착할 수 있는 곳이 줄어든다. 둘째, 반면에 흡착한 Mg원자가 탈착하기전에 산소원자와 반응하여 MgO를 이루어 기판에 증착된 확률은 증가한다. 세째, 산소가스의 양이 증가함에 따라 기판에서의 resputtering이 증가하게 된다.

2 W/cm^{2}의 RF전력에서는 산소분압이 증가하면서 위에서 설명한 증착속도를 증가시키는 요인과 감소시키는 요인이 결합되어 아르곤과 산소의 비가 50 : 50일 때 증착속도가 최대값을 나타낸다. 반면에 이렇게 증착된 박막은 기판에 도달하는 Mg원자의 수가 적으며 산소와 반응할 수 있는 확률이 큰 동시에 비교적 낮은 RF전력으로 인해 *resputtering* 효과가 크지 않은 산소분압이 큰 영역에서 가장 좋은 결정성을 보인다.

Fig. 9는 산소분압에 따른 박막표면의 미세구조를 나타낸 것이다 아르곤과 산소가스의 비율이 90 : 10일 때,

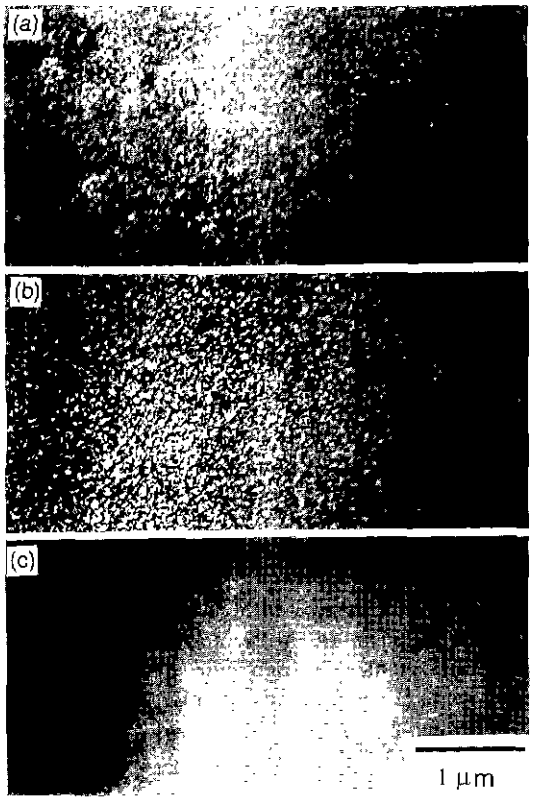

Fig. 9. SEM micrographs of MgO thin films deposited at (a) 90/10, (b) 50/50, and (c) 10/90 of Ar/O_2 ratio. The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, pressure: 10 mtorr, RF input power density: 2 W/cm^2.

즉, 결정성이 가장 좋을 때, 박막의 표면도 매우 평탄함을 알 수 있다.

RF전력를 3 W/cm^{2}로 증가시키면, 2 W/cm^{2}에 비하여 증착속도는 전체적으로 증가하는 반면에 증착속도와 결정성을 나타내는 X선 회절강도는 아르곤과 산소가스의 비가 70 : 30일 때 최대값을 나타내었다. 이러한 변화는 RF전력이 증가됨에 따른 *resputtering* 효과의 증가 때문이라고 생각된다. 5 W/cm^{2}일 때는 2 W/cm^2, 3 W/cm^{2}일 때 보인 경향과는 증착속도면에서 다른 경향을 보인다. 이를 설명하기 위해서는 RF전력의 변화에 따른 타겟에서의 산소가스의 흡착량을 비교해 볼 필요가 산소분압이 큰 조건하에서 낮은 RF전력에서는 타겟의 표면에 산소가스가 흡착된 상태로 있을 수 있기 때문에 금속타겟일 경우보다 sputter yield가 감소하게 된다. 또한, resputtering을 일으키는 산소원소들은 타겟의 표면에 흡착되어 O^- 형태로 존재하는 산소가 스퍼터링에 의해

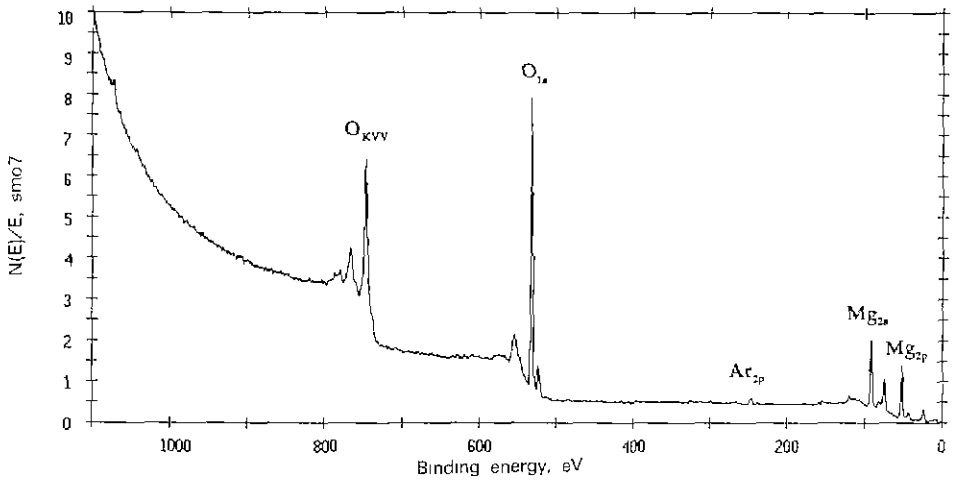

Fig. 10. ESCA spectrum of MgO thin film on Si(100) substrate.

Fig. 11. Cross-sectional image of MgO thin film on Si (100) substrate. The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, pressure: 10 mtorr, RF input power density: 5 W/cm², Ar/O_2: 50/50.

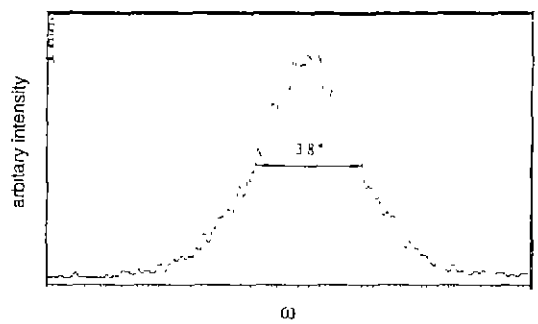

Fig. 12. Rocking curve of MgO thin film on Si(100) substrate. The deposition conditions are; substrate temperature: 600℃, pressure: 10 mtorr, RF input power density: 2 W/cm², Ar/O_2, 10/90.

떨어져 나오면서 sheath voltage에 의해 가속되어 기판에 충돌하는 것이 대부분이다[4]. 따라서, 낮은 RF전력에서는 resputtering될 수 있는 산소이온의 양이 타겟의 표면에 많이 존재한다고 할 수 있다. 반면에 높은 RF전력에서는 타겟표면에 산소가스가 흡착할 시간을 주지 않은 채 스퍼터링이 일어나기 때문에, 산소의 양이 증가함에 따른 sputter yield의 감소가 별로 없으며 resputtering되는 산소의 양도 감소할 것이다. 따라서, 낮은 RF전력조건과 산소의 분압이 높은 상태에 비해 증착속도가 감소되는 요인이 약화된다 그러나, 산소분압이 증가함에 따라 증착속도가 증가하는 것을 설명하기에는 미흡하며 이에 대해서는 추후 더 많은 실험이 요구된다.

3.2. 박막의 분석

3.2.1. 조성분석

ESCA를 이용하여 박막의 표면을 34 Å 정도 스퍼터링한 다음 박막의 조성을 관찰하였다. Fig. 10에서 보듯이, 불순물이 거의 없는 MgO박막이었으며 조건에 관계없이 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 불순물로서는 조건에 관계없이 Ar이 함유되어 있었으며, 스퍼터링하지 않은 상태에서는 탄소와 아연등의 불순물이 관찰되었다. 이때의 Ar은 박막제조과정에서 챔버내에 존재하는 Ar 원자와 플라즈마와 기판 사이에 걸리는 전압 차이에 의해 충돌한 Ar 양이온에 의해 함유된 것으로 생각된다. 또한 박막내부의 조성을 보기 위하여 박막을 스퍼터링하는 동안 ion implantation에 의해 박막내부에 박힌 Ar도

존재할 것이다.

3.2.2. 박막의 단면미세구조

Fig. 11은 박막의 단면미세구조를 나타낸다. 증착된 박막은 Si기판위에 균일한 두께로 치밀하게 증착되어 있으며 약간의 columnar구조를 가지고 있다.

3.2.3. 결정성 분석

XRD를 이용하여 MgO(200) 평면의 theta값의 반가폭을 측정하면 얼마나 단결정에 가까운 박막이 제조되었는지를 확인할 수 있다[15]. 본 실험에서 제조한 박막에 대해 이를 측정해 본 결과 Si단결정의 rocking curve 반가폭이 0.5°일 때 MgO(200) 평면의 rocking curve 반가폭은 약 3.8°를 나타냄을 Fig. 12에서 알 수 있다. 이는 Fork 등[8]이 펄스 레이저 증착법으로 epitaxy 성장시킨 MgO박막의 rocking curve 반가폭 값이 2.5°인 것과 비교할 때, 비교적 양질의 박막을 얻었음을 알 수 있다.

4. 결 론

1. 본 실험에서 증착된 MgO박막은 증착변수에 관계없이 MgO(100)//Si(100)의 관계를 가지며 단일방향으로 성장하였다.

2. 증착된 MgO박막은 기판온도가 증가할수록, 챔버내의 압력이 감소할수록 결정성이 향상되었다.

3. MgO박막의 결정성 및 증착속도 변화에 대한 산소분압과 RF전력의 영향은 서로 무관하게 작용하지 않으며 서로 복합적으로 연결되어 있었다. 이는 reactive RF 마그네트론 스퍼터링에서는 박막의 증착과정에서 산소가스와 Mg원자와의 반응이 반드시 필요하며, RF전력이 바뀜에 따라 산소분압에 따른 산소와 Mg원자와의 반응과 산소의 resputtering 형태가 달라지기 때문이다.

4. 본 실험에서 각각의 증착변수에 대한 물성변화를 관찰한 결과, 최적의 박막증착조건은 기판온도는 600℃, 챔버압력은 10 mtorr, RF전력은 2 W/cm^2, 아르곤과 산소가스의 비는 10 : 90이었다. 이러한 조건에서 증착된 박막은 불순물이 거의 없었으며, rocking curve와 미세구조를 살펴본 결과 상당히 우수한 물성의 박막임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 93년도 교육부 신소재분야 연구지원 및 포항공과대학교 자체연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. M. Okuyama and Y. Hamakawa, "Ferroelectric $PbTiO_3$ Thin Films and Their Application," *Int. J. Engng. Sci.*, **29**(3), 391-400 (1991).
2. J.T. Evans and R. Womack, "An Experimental 512-bit Nonvolatile Memory with Ferroelectric Storage Cell," *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, **23**(5), 1171-1175 (1988).
3. R. Takayama, Y. Tomita, K. Iijima, and I. Ueda, "Preparation and Characteristics of Pyroelectric Infrared Sensors Made of c-Axis Oriented La-Modified $PbTiO_3$ Thin Films," *J. Appl. Phys.*, **61**(1), 411-415 (1986).
4. K. Nashimoto, D.K Fork, and T.H. Geballe, "Epitaxial Growth of MgO on GaAs(001) for Growing Epitaxial $BaTiO_3$ Thin Films by Pused Laser Deposition," *Appl. Phys Lett*, **60**(10), 1199-1201 (1992).
5. W Hsu and R. Raj, "MgO Epitaxial Thin Films on (100) GaAs as a Substrate for the Growth of Oriented $PbTiO_3$," *Appl. Phys. Lett*, **60**(25), 22-24 (1992).
6. L.D. Chang, M.Z. Tseng, E.L. Hu, and D.K. Fork, "Epitaxial MgO Buffer Layers for $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ Thin Film on GaAs." *Appl. Phys Lett.*, **60**(14), 1753-1755 (1992)
7. W. Prusseit, S. Corsepius, F. Baudenbacher, and K. Hireta, "Epitaxial Growth of $YBa_2Cu_3O_7$ Films on GaAs with MgO Buffer Layer," *Appl. Phys. Lett.*, **61** (15), 1841-1843 (1992).
8. D.K Fork, F.A. Ponce, J.C. Tramontana, and T.H. Geballe, "Epitaxial MgO on Si(001) for Y-Ba-Cu-O Thin-Film Growth by Pulsed Laser Deposition." *Appl. Phys. Lett*, **58**(20), 2294-2296 (1991).
9. Y. Kaneko, N. Mikoshiba, and T. Yamashita, "Preparation of MgO Thin Films by RF Magnetron Sputtering," *Jpn. J. Appl Phys.*, **30**(5), 1091-1092 (1991).
10. A. Miyauchi, Y. Inoue, M. Ohue, N. Momma, and T. Suzuki, "Low-Temperature (900℃) Si Epitaxial Growth on Si(100) After HF Treatment," *J. Electrochem. Soc.*, **137**(10), 3257-3260 (1990).
11. Milton Ohring, The Materials Science of Thin Films, Academic Press, Inc., 1992.
12. Brian Chapman, Glow Dischrge Process, John Wiley & Sons, Inc., 1980.
13. Rointan F. Bunshah, Deposition Technologies for Films and Coatings, NOYES Publications, 1982.
14. S.N. Ermolov, V.A. Marchenko, V.Z. Rosenflantz, and A.G. Znamenski, "Resputtering Effects During Magnetron Sputtering of Y-B-Cu-O," *Thin Solid Films*, **204**, 229-237 (1991).
15. B.D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, Addison-Wesley Publishing Company, 1978.