

유도결합 플라즈마를 이용한 $YMnO_3$ 박막의 건식 식각 특성 연구

Dry Etching Characteristics of $YMnO_3$ Thin Films Using Inductively Coupled Plasma

민병준, 김창일, 장의구

(Byung-Jun Min, Chang-Il Kim, Eui-Goo Chang)

Abstract

$YMnO_3$ films are excellent gate dielectric materials of ferroelectric random access memories (FRAMs) with MFSFET (metal-ferroelectric-semiconductor field effect transistor) structure because $YMnO_3$ films can be deposited directly on Si substrate and have a relatively low permittivity. Although the patterning of $YMnO_3$ thin films is the requisite for the fabrication of FRAMs, the etch mechanism of $YMnO_3$ thin films has not been reported. In this study, $YMnO_3$ thin films were etched with Cl_2/Ar gas chemistries in inductively coupled plasma (ICP). The maximum etch rate of $YMnO_3$ film is $285 \text{ \AA}/\text{min}$ under $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ of 1.0, RF power of 600 W, dc-bias voltage of -200 V, chamber pressure of 15 mTorr and substrate temperature of $25 \text{ }^\circ\text{C}$. The selectivities of $YMnO_3$ over CeO_2 and Y_2O_3 are 2.85, 1.72, respectively. The selectivities of $YMnO_3$ over PR and Pt are quite low. Chemical reaction in surface of the etched $YMnO_3$ thin films was investigated with X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and secondary ion mass spectrometry (SIMS). The etch profile was also investigated by scanning electron microscopy (SEM).

Key Words : FRAM, $YMnO_3$, Etching, Cl_2/Ar , ICP, XPS

1. 서 론

최근 강유전체 메모리 (FRAM)와 같은 비휘발성 메모리 소자는 차세대 메모리소자로서 많은 각광을 받고 있다. 특히, 금속-강유전체-반도체 전계 효과 트랜지스터 (MFSFET : metal-ferroelectric-semiconductor field effect transistor) 구조의 강유전체 메모리는 저소비 전력과 작은 메모리 크기, 비파괴판독 (NDRO : non-destructive read-out) 특성

등의 이점으로 유망한 차세대 메모리로 많은 연구가 이루어지고 있다[1-4]. 현재까지 $Pb(Zr,Ti)O_3$ (PZT), $SrBi_2Ti_2O_9$ (SBT), $(Ba,Sr)TiO_3$ (BST), $YMnO_3$ 등의 다양한 강유전체 물질들이 MFSFET 구조의 게이트 유전물질로 연구되어 왔다. 다양한 강유전체 물질 중 $YMnO_3$ 는 하나의 분극축 (c축, [0001])을 가져 분극축과 동일 방향으로 전계가 걸리는 경우, $5.5 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 의 자발분극 (spontaneous polarization)과 $1.2 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 의 잔류분극 (remanent polarization)을 얻을 수 있고[5,6], Bi나 Pb 등과 같이 쉽게 실리콘 내로 확산되어 피로 현상을 야기하는 성분을 포함하고 있지 않기 때문에 실리콘 위에 직접 증착시킬 수 있다. 또한 낮은 유전상수 ($\epsilon=20$)를 가지므로 강유전체 층에 큰 인가전압을 걸어줄 수 있어, MFSFET

중앙대학교 전자전기공학부

(서울시 동작구 흑석동 221 중앙대학교),

Fax: 02-812-9651

E-mail : cikim@cau.ac.kr

2000년 12월 15일 접수, 2001년 1월 26일 심사완료

구조의 고집적 강유전체 메모리에서 우수한 게이트 유전물질로써 연구가 활발히 이뤄지고 있다[4-10]. 그러나 고집적 강유전체 메모리를 제작하기 위해서는 $YMnO_3$ 박막의 패터닝 형성이 필수적임에도 불구하고 이에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 그러므로, $YMnO_3$ 박막에 대한 최적화된 식각공정 확보를 위한 식각 특성에 관한 연구가 필요하다. 따라서, 본 연구에서는 $YMnO_3$ 박막을 ICP (inductively coupled plasma) 식각장치로 Cl_2/Ar 가스 혼합비를 변화시키면서 식각하여 $YMnO_3$ 박막의 식각 표면 반응 특성을 연구하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 기판은 $0.85 \sim 1.15 \Omega \cdot cm$ 의 비저항을 갖는 p형, 4인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 세척 및 자연 산화막 제거를 위하여 기판을 1 : 4의 $H_2SO_4 : H_2O_2$ 및 10 : 1의 $H_2O : HF$ 용액과 탈이온수 (deionized water)를 각각 사용하였다. 웨이퍼를 세척을 한 후 rf 스퍼터링 시스템을 이용하여 실리콘 웨이퍼 위에 직접 $YMnO_3$ 박막을 증착시켰다. rf 스퍼터링 시스템은 4인치의 마그네트론 스퍼터링 소스를 장착하였으며, 스퍼터링 소스와 기판사이의 거리는 약 6cm이다. 스퍼터링 target으로는 Y_2O_3 와 Mn_2O_3 를 각각 1 : 1로 혼합한 99.9% 순도의 $YMnO_3$ single target을 사용하였다. $YMnO_3$ 박막을 스퍼터링 증착시킬 때, rf 전력 밀도, 반응로 압력 및 $O_2/(O_2+Ar)$ 가스 혼합에서의 산소 분압비는 각각 $1.85 W/cm^2$, 5×10^{-3} Torr와 20 %로 고정시켰다. $YMnO_3$ 박막을 증착시키는 동안, 기판은 접지 하였으며 기판 온도는 가스전도 가열 (gas conduction heating) 방식을 사용하여 실온 ($27^\circ C$)으로 고정시켰다. 증착속도는 약 6.25 A/min이었으며, $YMnO_3$ 박막의 두께는 약 150nm이었다. $YMnO_3$ 박막 증착 후에 O_2 분위기에서 30분 동안 $870^\circ C$ 에서 열처리를 수행하였다. $YMnO_3$ 박막 증착 후, RBS (Rutherford backscattering spectrometry)를 이용하여 $YMnO_3$ 박막의 두께 및 조성을 측정하였다.

증착된 $YMnO_3$ 박막의 유전상수는 $300^\circ K$ 에서 약 19 정도이었다[10]. 이와 같이 준비된 $YMnO_3$ 박막을 ICP 장비를 이용하여 식각하였다. Cl_2/Ar 의 가스 혼합비에 따른 식각 특성에 관하여 실험하였고, 이에 대한 식각 메커니즘을 규명하기 위해서 NANOTEK 사의 NTS-U101 OES (optical emission spectroscopy) 장비를 이용하여 플라즈마를 진단하였고, VG Scientific 사의 ESCALAB 220-IXL

XPS (x-ray photoelectron spectroscopy) 장비를 이용하여 식각전후의 $YMnO_3$ 박막의 표면을 분석하였다. 이를 통해 Ar과 Cl_2 의 혼합비를 다르게 하여 식각하였을 때, 각각의 원소들의 상대적인 비율 구하여 어떤 효과에 의해서 식각되어 제거되었는지를 분석하였다. 이때 사용된 XPS 장비는 250 watts의 Al K α (1486.6 eV) 방사를 사용하였다. XPS 분석 결과를 비교하기 위하여 CAMECA IMS6F SIMS로 질량 분석을 수행하였다. SIMS 원으로는 1.11 kV와 10.68~10.92 nA의 Cs⁺ 이온이 사용되었다. $YMnO_3$ 박막의 식각 단면의 식각 각도 및 측벽의 잔류물의 유무를 관찰하기 위해 Hitachi S-800 SEM 시스템을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

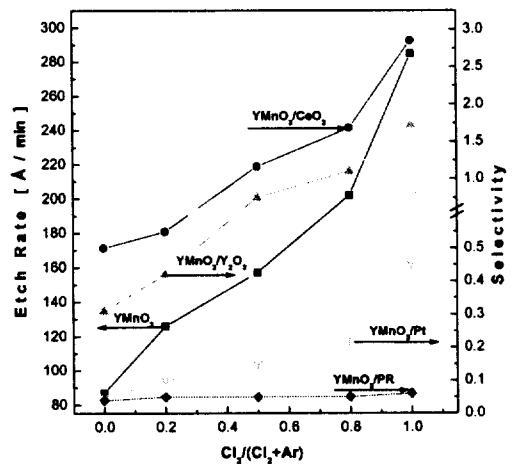


그림 1. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비에 따른 $YMnO_3$ 박막의 식각율 및 선택비.

Fig. 1. The etch rate and selectivity of $YMnO_3$ thin films as a function of $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ gas mixing ratio.

$YMnO_3$ 박막을 ICP 장비와 Cl_2/Ar 가스를 이용하여 식각하였다. 그림 1은 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비에 따라 식각된 $YMnO_3$ 박막의 식각율과 완충층으로 사용되는 CeO_2 및 Y_2O_3 , 마스크 물질로 사용되는 PR 및 전극물질인 Pt에 대한 $YMnO_3$ 박막의 식각 선택비를 나타낸 것이다. 이때 식각 공정 변수는 600 W의 rf 전력, -200 V의 직류 바이어스 전압, 15 mTorr의 반응로 압력, 30 sccm의 총 가스유량과 $25^\circ C$ 의 기판 온도로 고정시켰다. 그림 1에서 보는 바

와 같이 Cl 비율이 높아질수록 YMnO₃ 박막의 식각율은 증가하였다. YMnO₃ 박막의 최대 식각율은 Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스 혼합비가 1.0인 조건에서 285 Å/min이었다. 이는 YMnO₃ 박막을 식각하는데 있어서, Cl 라디칼에 의한 화학적인 식각이 Ar 이온에 의한 물리적인 스퍼터링에 비해 더욱 효과적으로 작용하기 때문인 것으로 판단된다. Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스 혼합비가 증가함에 따라 CeO₂와 Y₂O₃에 대한 YMnO₃ 박막의 선택비는 빠르게 증가한다. 이것은 CeO₂와 Y₂O₃의 식각 시 Ar 이온에 의한 스퍼터링이 화학적인 식각에 비해 더 효과적으로 작용한다는 것을 의미한다. 반면에, Pt에 대한 YMnO₃ 박막의 선택비는 Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스 혼합비가 증가할수록 천천히 증가하며 PR의 경우는 거의 일정하며 매우 낮다. 그러므로 마스크 물질로써 사용하기에 PR은 부적절한 것으로 판단된다. YMnO₃ 박막의 최대 식각율을 얻을 수 있는 Cl₂/(Cl₂+Ar) = 1.0인 조건에서 CeO₂, Y₂O₃, Pt 및 PR에 대한 YMnO₃ 박막의 선택비는 각각 2.85, 1.72, 0.45, 0.06이었다.

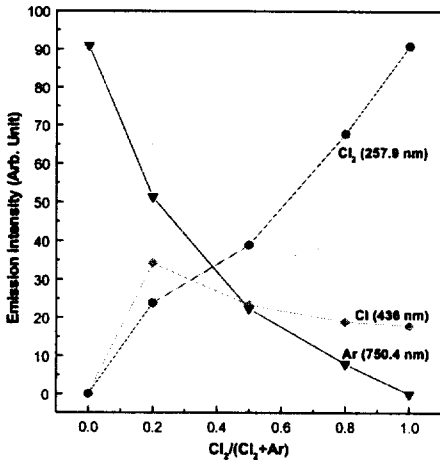


그림 2. OES를 이용한 Cl₂/(Cl₂+Ar)의 가스 혼합비에 따른 Cl, Cl₂, Ar의 광방출 세기.

Fig. 2. The emission intensity of Cl, Cl₂, Ar as a function of Cl₂/(Cl₂+Ar) gas mixing ratio using OES.

Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스 혼합비에 따라 YMnO₃, CeO₂, Y₂O₃, Pt 및 PR 박막의 식각 특성을 이해하기 위해서 OES를 이용하여 Cl₂/Ar 플라즈마 특성을 분석하였다. 그림 2는 OES를 이용하여 Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스 혼합비에 따른 Cl₂/Ar 플라즈마의 Cl 라디칼 및 Ar, Cl₂의 방출 세기를 이용하여 상대적인 밀도를 구한

결과이다. 검출된 Cl 라디칼, Cl₂ 및 Ar의 파장은 각각 436 nm, 257.9 nm, 750.4 nm이었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스 혼합비가 증가함에 따라 Cl₂의 방출 세기는 증가하고 Ar은 급격히 감소한다. Cl의 방출 세기는 Cl₂/Ar 가스 혼합비가 증가함에 따라 감소하는데, 이는 Ar 이온 충돌에 의한 Cl₂ 분자의 해리가 감소되어 Cl 라디칼의 밀도가 감소하는 것으로 판단된다. 그리고 Cl 라디칼 사이의 재결합 또한 존재하는 것으로 예상된다. Cl 라디칼의 밀도가 높아질수록 YMnO₃ 박막의 식각율이 증가하는 것은 Y, Mn, O와 Cl 라디칼 사이에 화학적 반응이 존재하여 YMnO₃ 박막 식각에 도움이 되기 때문이다.

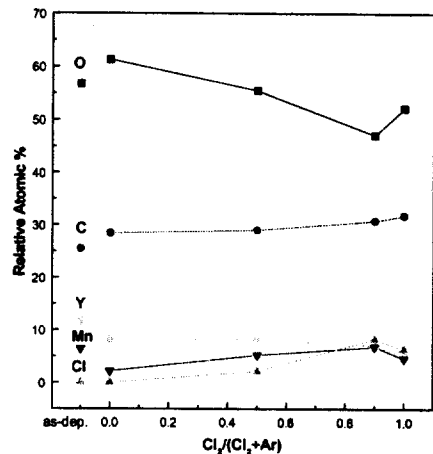


그림 3. Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스 혼합비에 따라 식각된 YMnO₃ 박막의 상대적인 원소의 비.

Fig. 3. The relative atomic percentage of YMnO₃ thin films etched as a function of Cl₂/(Cl₂+Ar) gas mixing ratio.

그림 3은 Cl₂/(Cl₂+Ar) 가스 혼합비에 따라 식각된 YMnO₃ 박막 표면의 상대적인 원소비 (relative atomic percentage)를 나타내었다. 그림 3에서 알 수 있듯이 Y의 상대적인 원소비는 Ar이 첨가된 식각 공정 조건하에서 식각된 YMnO₃ 박막의 것보다 Cl₂만으로 식각된 YMnO₃ 박막에서 훨씬 적게 나타난다. 또한 as-deposited YMnO₃ 박막에서의 Y의 상대적인 원소비보다 적게 나타나는데, 이는 Y이 Cl 라디칼과 반응하여 YCl_x를 형성하여 표면에서 탈착되어 박막 표면에서 제거되는 것을 의미하는 것이다.

Mn의 상대적인 원소비의 경우에는 Ar 이온만으로 식각한 박막의 것이 as-deposited $YMnO_3$ 박막 및 Cl_2 를 첨가하여 식각한 $YMnO_3$ 박막의 것보다 적게 나타난다. 이는 Mn의 경우 Ar 이온 충돌에 의해 Mn-O 결합이 깨어지고 Mn이 표면에서 제거되고 있음을 의미한다. O의 상대적인 원소비는 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 증가함에 따라 전체적으로 감소하고 있음을 보인다. 따라서 Cl 라디칼에 의한 O의 제거 또한 식각을 증가에 도움을 주는 것으로 판단된다. 특히, $Cl_2/(Cl_2+Ar) = 0.9$ 인 조건에서 상대적으로 가장 적은 양을 보이는데, 이는 O를 식각하기 위해서는 화학적인 식각이 더욱 효과적이고 또한 스퍼터링의 도움을 받는 것으로 생각할 수 있다. 가스 혼합비가 증가함에 따라 O의 상대적인 양이 감소되고 있으나 대부분 높게 나타나는데, 이는 XPS 분석 전에 시료가 대기 중에 약 24시간 정도 노출되었으므로 실제보다 높게 나타난다고 판단된다.

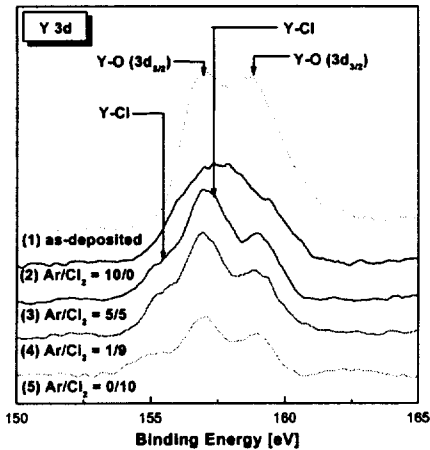


그림 4(a). $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비에 따라 식각된 $YMnO_3$ 박막 표면에서의 Y 3d XPS narrow scan 스펙트럼.

Fig. 4(a). Y 3d XPS narrow scan spectra of $YMnO_3$ thin films etched as a function of $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ gas mixing ratio.

$YMnO_3$ 박막과 Cl 라디칼사이의 화학적인 결합을 알아보기 위해서 XPS narrow scan을 수행하였다. 그림 4는 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비의 변화에 따라 식각된 $YMnO_3$ 박막 표면에서의 (a) Y 3d, (b) Mn 2p 및 (c) Cl 2p의 narrow scan 스펙트럼을 나타낸

것이다. 그림 4(a)에서 보는 것처럼 Y 3d 스펙트럼은 156.8 eV와 158.85 eV에서 각각 Y-O ($3d_{5/2}$)와 Y-O ($3d_{3/2}$) 두 개의 피크로 나타난다. 식각 후의 $YMnO_3$ 시료에서는 각각 155.1 eV와 157.15 eV의 결합 에너지를 가지는 Y-Cl ($3d_{5/2}$)와 Y-Cl ($3d_{3/2}$) 피크가 존재하는 것으로 생각된다. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 증가함에 따라 Y-O의 피크 세기는 감소하면서 넓어지는데, 이는 Y과 Cl 라디칼 사이에 화학적인 반응이 일어나서 YCl_x 형태로 Y이 제거되지만 YCl_x 의 일부가 시료 표면에 잔류하기 때문이라 판단된다.

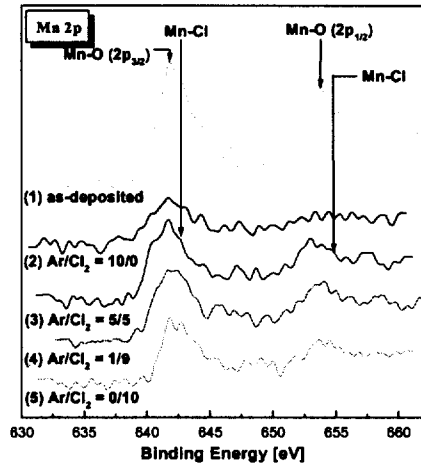


그림 4(b). $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비에 따라 식각된 $YMnO_3$ 박막 표면에서의 Mn 2p XPS narrow scan 스펙트럼.

Fig. 4(b). Mn 2p XPS narrow scan spectra of $YMnO_3$ thin films etched as a function of $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ mixing ratio.

그림 4(b)는 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비에 따라 식각된 $YMnO_3$ 박막 표면의 Mn 2p 피크의 narrow 스펙트럼을 나타낸 것이다. Mn 2p 스펙트럼은 각각 641.6 eV와 652.65 eV에서 Mn-O ($2p_{3/2}$)와 Mn-O ($2p_{1/2}$)의 두 개의 피크로 나타난다. 그러나 640.5~642.4 eV의 결합에너지에서 여러 개의 Mn-O($2p_{3/2}$) 피크들과 641.8~642.2 eV 사이에서 $MnCl_x$ 피크가 나타나므로, Mn 2p 스펙트럼의 정확한 피크 해석은 어렵다. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 증가함에 따라 Mn-O 피크는 감소하는 반면, $MnCl_x$ 피크는 증가하여 폭이 넓어졌다. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 0.0인

조건에서 가장 낮은 피크가 나타났다. 이는 Mn-Mn 결합은 Mn-Cl 결합에 비해 결합력이 약하므로 Ar 이온 충돌에 의해 쉽게 결합이 깨어지고 제거되기 때문이라 판단된다[11].

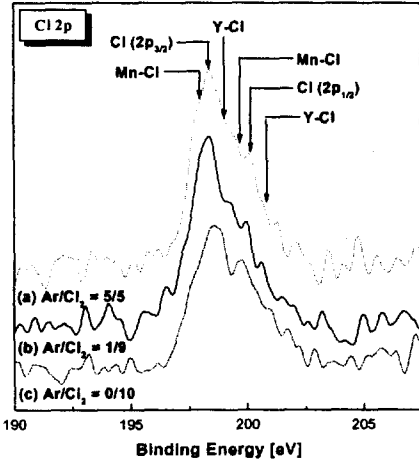


그림 4(c). $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비에 따라 식각된 $YMnO_3$ 박막 표면에서의 Cl 2p XPS narrow scan 스펙트럼.

Fig. 4(c). Cl 2p XPS narrow scan spectra of $YMnO_3$ thin films etched as a function of $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ gas mixing ratio.

그림 4(c)는 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비에 따라 식각된 $YMnO_3$ 박막에서의 Cl 2p narrow scan 스펙트럼을 나타낸 것이다. Cl 2p 피크는 각각 198.5 eV와 200.1 eV의 결합에너지에서 Cl $2p_{3/2}$ 와 Cl $2p_{1/2}$ 의 두 개의 피크로 나타난다. $YMnO_3$ 박막 식각 시에 금속 (Y, Mn)과 Cl 라디칼과의 화학 반응이 일어나므로, Cl 2p의 피크는 각각 Cl, Y-Cl 및 Mn-Cl 피크로 나눌 수 있다. 그러나 금속 (Y, Mn)-Cl 피크가 존재하는 것으로 판단되나, 이들에 대한 정확한 결합에너지를 알 수 없으므로[12], Cl 피크의 분리 (deconvolution)는 어렵다. Mn-Cl 피크는 Cl 피크보다 낮은 결합에너지에, Y-Cl 피크는 Cl 피크보다 높은 결합에너지에서 존재하는 것으로 판단된다. (Y, Mn)-Cl 할로겐 화합물 피크의 세기는 화학 반응이 증가함에 따라 증가하므로, 그림 4(c)에서 보는 바와 같이 Cl 피크는 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 증가함에 따라 넓어진다.

XPS 분석 결과를 검증하기 위하여 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 0.8인 조건에서 식각된 $YMnO_3$ 박막

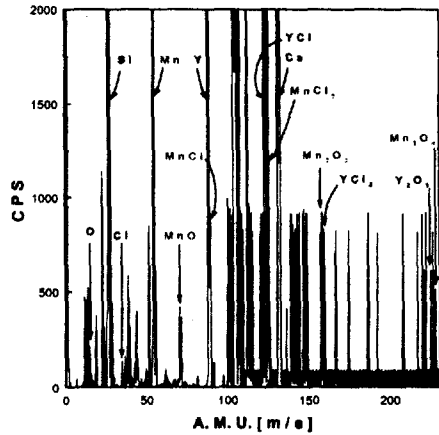


그림 5. $Cl_2/(Cl_2+Ar)=0.8$ 에서 식각된 $YMnO_3$ 표면을 SIMS를 이용한 이차 이온 질량 분석.

Fig. 5. Mass analysis of $YMnO_3$ surface etched with $Cl_2/(Cl_2+Ar)=0.8$ by SIMS.

표면의 SIMS 분석을 수행하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 식각된 $YMnO_3$ 박막 표면에 YCl, YCl_2 , MnCl 및 $MnCl_2$ 와 같은 할로겐 화합물이 존재함을 알 수 있다. 또한 MnO, MnO_2 , Mn_2O_3 등의 다양한 형태의 망간 산화물이 $YMnO_3$ 박막에 존재하는 것도 알 수 있다. YCl_3 는 거의 측정되지 않았지만 식각된 $YMnO_3$ 박막 표면에 존재하는 것으로 예상된다.



그림 6. $Cl_2/(Cl_2+Ar)=0.8$ 에서 식각된 $YMnO_3$ 박막의 SEM 단면 사진.

Fig. 6. SEM photograph of $YMnO_3$ surface etched with $Cl_2/(Cl_2+Ar)=0.8$.

그림 6은 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 0.8인 조건에서 식각된 $YMnO_3$ 박막의 SEM 단면 사진이다. 그림 6에서 보는 바와 같이 약 65° 정도의 기울기를 보이며 측벽에 잔류물이 존재하지 않는 것을 알 수 있다.

4. 결론

$YMnO_3$ 박막을 ICP 장비와 Cl_2/Ar 가스 플라즈마를 이용하여 식각하였고, 식각 메커니즘을 조사하기 위하여 OES, XPS 및 SIMS 분석을 수행하였다. 또한 식각 후의 식각 단면 및 표면 잔류물을 조사하기 위하여 SEM을 이용하였다. $YMnO_3$ 박막의 최대 식각율은 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 1.0인 조건에서 285 A/min이었으며, 이 때의 CeO_2 , Y_2O_3 , Pt 및 PR에 대한 $YMnO_3$ 박막의 선택비는 각각 2.85, 1.72, 0.45, 0.06이었다. $YMnO_3$ 박막은 Cl 라디칼에 의한 화학적 식각이 효과적임을 알 수 있다. Y은 화학적인 식각에 의해 보다 효과적으로 제거되는 반면, Mn은 Ar 이온 충돌에 의해 효율적으로 제거되는 것을 XPS 분석을 통해 확인하였다. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 0.8인 조건에서 식각된 $YMnO_3$ 박막의 SIMS 분석 결과에서 YCl , YCl_2 , $MnCl$ 및 $MnCl_2$ 등의 YCl_x , $MnCl_x$ 가 존재함을 알 수 있다. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비가 0.8인 조건에서 식각된 $YMnO_3$ 박막의 SEM 단면 사진에서 약 65° 정도의 기울기와 측벽에 잔류물이 없는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부 2000년도 대학기초연구지원 사업비의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

[1] T. Hanyu, H. Kimura, and M. Kameyama, "Multiple-valued content-addressable memory using metal-ferroelectric-semiconductor FETs", Proc. IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic, pp. 30-35, 1999.
 [2] J. L. Moll and Y. Tarui, "A new solid state memory resistor", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 10, No. 9, pp. 338-339, 1963.
 [3] S. Y. Wu, "A new ferroelectric memory device, metal-ferroelectric-semiconductor

transistor", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 21, No. 8, pp. 499-504, 1974.
 [4] 김채규, 김진규, 정순원, 김용성, 이남열, 김광호, 유병곤, 이원재, 유인규, 양일석, "YMnO₃를 이용한 MFS 커패시터의 특성", 1999년도 전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, pp. 425-428, 1999.
 [5] N. Fujimura, T. Ishida, T. Yoshimura, and T. Ito, "Epitaxially grown YMnO₃ film: New candidate for nonvolatile memory devices", Appl. Phys. Lett., Vol. 69, No. 7, pp. 1011-1013, 1996.
 [6] T. Yoshimura, N. Fujimura, N. Aoki, K. Hokayama, S. Tsukui, K. Kawabata, and T. Ito, "Fabrication of YMnO₃ Thin Films on Si Substrates by a Pulsed Laser Deposition Method", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 36, Part 1, pp. 5921-5924, 1997.
 [7] 김진규, 김채규, 정순원, 김용성, 이남열, 김광호, 유병곤, 이원재, 유인규, 양일석 "스퍼터링을 이용한 YMnO₃/Si(100) 구조의 제작", 1999년도 전기전자재료학회 추계학술대회 논문집, pp. 429-432, 1999.
 [8] N. Fujimura, H. Tanaka, H. Kitahata, K. Tadanaga, T. Yoshimura, T. Ito, and T. Minami, "YMnO₃ thin films prepared from solutions for non volatile memory devices", Jpn. J. Appl. Phys. Part 2, Vol. 36, pp. L1601-L1603, 1997.
 [9] 김재운, 김부근, 김감언, 정수태, 조상희, "Y/Mn의 혼합비에 따른 YMnO₃ 세라믹의 소결 및 유전특성", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 17, No. 2, pp. 137-142, 2000.
 [10] Ho-Nyung Lee, Yong-Tae Kim, and Young K. Park, "Memory window of highly c-axis oriented ferroelectric YMnO₃ thin films", Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No. 25, pp. 3887-3889, 1999.
 [11] D. R. Lide, "Handbook of Chemical and Physics", edited by CRC press, pp. 9-51, 1998.
 [12] J. Chastain, "Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy", Perkin Elmer, pp. 62-63, 106-107, 1992.