

Ar/CF₄ 유도결합 플라즈마를 이용한 BET 박막의 식각 메카니즘

Etching Mechanism of Bi_{4-x}Eu_xTi₃O₁₂ (BET) Thin Films using Ar/CF₄ Inductively Coupled Plasma

임규태, 김경태, 김동표, 김창일

(Kyu-Tae Lim, Kyoung-Tae Kim, Dong-Pyo Kim, and Chang-Il Kim)

Abstract

Bi_{4-x}Eu_xTi₃O₁₂ (BET) thin films were etched by inductively coupled CF₄/Ar plasma. We obtained the maximum etch rate of 78 nm/min at the gas mixing ratio of CF₄ (10%)/Ar (90%). The variation of volume density for F and Ar atoms are measured by the optical emission spectroscopy. As CF₄ increased in CF₄/Ar plasma, the emission intensities of F increase, but Ar atoms decrease, which confirms our suggestion that emission intensity is proportional to the volume density of atoms. From X-ray photoelectron spectroscopy, the intensities of the Bi-O, the Eu-O and the Ti-O peaks are changed. By pure Ar plasma, intensity peak of the oxygen-metal (O-M : TiO₂, Bi₂O₃, Eu₂O₃) bond was seemed to disappear while the intensity of pure oxygen peak showed an opposite tendency. After the BET thin films was etched by CF₄/Ar plasma, the peak intensity of O-M bond increase slowly, but more quickly than that of peak belonged to pure oxygen atoms due to the decrease of Ar ion bombardment. Scanning electron microscopy was used to investigate etching profile. The profile of etched BET thin film was over 85°.

Key Words: Ru, Etching, ICP, OES, XPS

1. 서론

현재 비휘발성 강유전 메모리 소자의 응용을 위하여 강유전 물질로 Pb(Zr,Ti)O₃ (PZT)계 강유전체 물질이 많이 연구 되고있다. 그러나 비휘발성 기억소자로 사용되기 위해서는 소자의 구동에 대한 논리상태 보존의 안정성이 요구된다. PZT 박막은 분극피로(fatigue), imprint, retention 등의 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 산화물전극

(IrO₂, RuO₂)등을 이용하여 피로특성등을 향상시킬 수 있었지만, 전기전도도가 낮고, RC 시정수가 높아지며, 이차 비강유전상을 만드는 문제점이 있다. 최근 이런 문제점을 해결하기 위해 비스무스계 층상 페로브스카이트(Bi-layer structured perovskite) 구조를 가지는 SrBi₂Ta₂O₉(SBT), Bi_{4-x}La_xTi₃O₁₂ (BLT)가 연구되어 지고 있다 [1-4]. 그러나, 피로 특성이 없는 SBT는 공정온도가 높고(750~850℃) 잔류분극 값이(20 μC/cm²) 낮은 단점이 있다. 최근 분극 피로가 적고 비교적 낮은 공정온도(650℃)에서도 증착이 가능하며 SBT박막보다 큰 잔류 분극 값을 가지는 BTO의 Bi³⁺이온을 La³⁺ 이온으로 치환하는 Bi_{3.25}La_{0.75}Ti₃O₁₂ (BLT) 박막에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다[5]. 그러나 BLT박막은

중앙대학교 전자전기공학부
(서울시 흑석동 156-756)
Fax: 02-812-9651

Corresponding Author : cikim@cau.ac.kr
2002년 11월 5일 접수, 2003년 12월 27일 1차 심사완료,
2003년 2월 11일 최종 심사완료

잔류분극값이 PZT보다 낮은 값을 가지는 단점이 있다. 높은 잔류분극 값 및 분극 피로가 없는 박막을 제작하기 위하여 BTO 박막에 란타게열(Sm, Eu, Ce등)을 첨가하여 높은 잔류분극 값을 가지는 박막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[6]. BTO 박막에 Eu를 첨가하였을 경우, $2P_r$ (60.99 C/cm^2)은 Sm을 첨가하였을 경우의 $2P_r$ (49 C/cm^2) 또는 La를 첨가하였을 경우의 $2P_r$ (27 C/cm^2) 보다 매우 높은 값을 갖는다고 보고되었다 [7].

본 연구에서는 BTO의 Bi (0.9A) 이온을 이온 반지름이 비슷한 Eu (0.95A)이온으로 치환하여 박막을 제조하였다[7,8]. 강유전체 메모리의 유전체로 사용될 BET 박막을 CF_4/Ar 플라즈마를 이용하여 식각 형상과 식각률을 조사하였고, 식각 변수인 가스 혼합비, RF power, DC bias 변화에 따른 식각 속도를 α -step를 이용하여 측정하였다. 반응로의 플라즈마 상태를 측정하기 위해 OES (optical emission spectroscopy)를 사용하였고, BET 박막과 F의 표면 반응 상태를 고찰하기 위하여 식각된 BET 박막의 표면을 XPS (x-ray photoelectron spectroscopy)로 분석하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 기판은 $0.85 \sim 1.15 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ 의 비저항을 갖는 p형, 4인치 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 200 nm의 BET 박막은 MOD법에 의하여 Pt/Ti/SiO₂/Si 구조위에 제작하였다. 이 때 출발물질은 bismuth (III) acetate [$\text{Bi}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_3$], europium (III) acetate hydrate [$\text{Eu}(\text{CH}_3\text{CO}_2)_{3x}\cdot\text{H}_2\text{O}$], titanium (IV) isopropoxide [$\text{Ti}[\text{OCH}(\text{CH}_3)_2]_4$] 이었으며, 용매로는 acetic acid [$\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$]와 2-methoxyethanol [$\text{CH}_3\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$]이 사용되었다.

$\text{Bi}_{4-x}\text{Eu}_x\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ($x=0.75$) 조성식에 따라 평량을 하였으며, 소결 시 휘발하기 쉬운 Bi-acetate를 10% 과잉 첨가하여 용액을 제조하여 사용하였다. 이와 같이 증착된 BET 박막은 유도결합 플라즈마 시스템을 이용하여 식각을 하였다. BET 박막의 식각에는 CF_4/Ar 플라즈마를 사용하였으며, 각 공정 변수는 CF_4/Ar 가스 혼합비, RF 전력, 직류 바이어스 전압이었으며, 20 mTorr의 반응로 압력, 30 sccm의 총 가스유량과 30°C의 기판 온도로 고정시켰다. 식각속도는 Tencor사의 α -step 500을 이용하여 측정되었으며, 감광막 (photoresist : PR)

마스크를 사용하여 패턴을 형성한 후, 식각단면은 JEOL JSM-640 SEM (field emission scanning electron microscopy)을 이용하여 관찰 하였다. 식각 전후의 BET 박막의 표면 반응을 VG Scientific사의 ESCALAB 250 XPS 장비를 이용하여 분석하였다. 이때 XPS 장비는 250 watts의 방사에너지를 가지는 Al K α (1486.6 eV)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 CF_4/Ar 가스 혼합비 변화에 따른 BET 박막의 식각률과 Pt, 산화막에 대한 BET 박막의 선택비를 나타낸 것이다. 이 때의 공정 조건은 RF power/DC-bias가 700 W/-200 V였으며 반응로의 압력은 20 mTorr이었다. 순수 Ar 플라즈마에서의 BET박막의 식각률은 순수 CF_4 플라즈마에서의 식각률 보다 약 1.5배 빠르다. 이러한 결과를 볼 때, BET박막이 F 라디칼과의 결합에 의한 화학적 식각보다 Ar 이온에 의한 스퍼터링이 더 효과적일 것이라 사료된다. CF_4 가스 혼합비율이 10% 까지 식각률이 증가하고, 그 이상 첨가함에 따라 식각률의 감소를 보인다

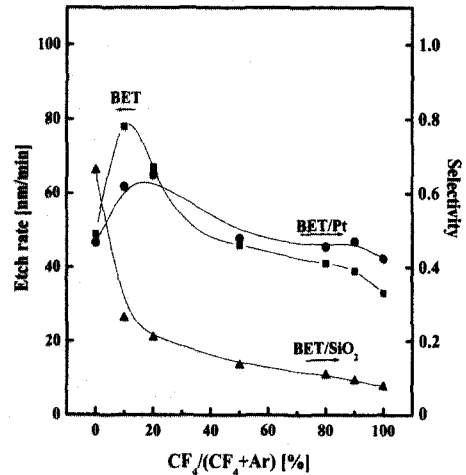


그림 1. CF_4/Ar gas의 혼합비에 따른 식각률과 Pt와 산화막에 대한 선택비.

Fig. 1. The etch rate of BET thin films and the selectivity of BET to Pt and SiO₂ as functions of the CF_4/Ar gas mixing ratio.

CF₄(10%) /Ar(90%)의 조건에서 78 nm/min의 최고 식각률을 보였으며, 이 때의 Pt와 산화막에 대한 선택비는 0.6과 0.26이었다. 이러한 결과는 BET박막의 식각 메카니즘은 F 라디칼의 화학반응과 물리적인 스퍼터링에 의한 것이라고 판단된다. CF₄/Ar 플라즈마에서 Ar이온의 충돌은 물리적인 스퍼터링 뿐만 아니라, 금속 (Bi, Eu, Ti)들이 F과 결합할 수 있도록 M-O (TiO₂, Bi₂O₃, Eu₂O₃) 결합을 끊는 역할을 한다[9].

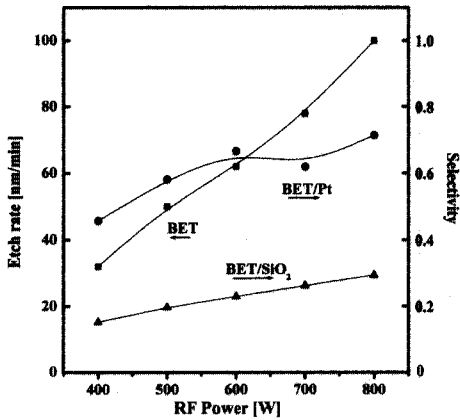


그림 2. RF power에 따른 BET의 식각률과 Pt와 산화막에 대한 선택비.

Fig. 2. The etch rate of BET as well as the selectivity of BET to Pt and SiO₂ as functions of RF power.

그림 2는 RF power에 따른 BET 박막의 식각률과 Pt와 산화막에 대한 선택비를 보여준다. 이때, RF power는 400 W~800 W로 변화시키면서, 가스 혼합비는 CF₄(10%)/Ar(90%), 직류 바이어스 전압은 -200 V, 반응로 압력은 20 mTorr로 고정하였다. 그림 2에서 나타난바와 같이, RF power가 증가 할수록 식각률은 증가하며, 식각률은 800 W일 때 100 nm/min로 가장 높았다. Pt와 산화막에 대한 선택비는 각각 0.7과 0.29였다. RF power가 증가 할수록 플라즈마 밀도가 증가하고, 따라서 라디칼과 이온이 증가하기 때문에 BET박막의 식각률이 향상된 것으로 판단된다[10].

그림 3은 DC bias 전압에 따른 BET 박막의 식각률과 Pt와 산화막에 대한 선택비를 보여준다. 이때, 직류 바이어스 전압은 -100 V~-250 V로 변화시켰다. RF power는 700 W, 가스 혼합비는 CF₄(10%)/Ar(90%), 반응로 압력은 20 mTorr로 고정하였다.

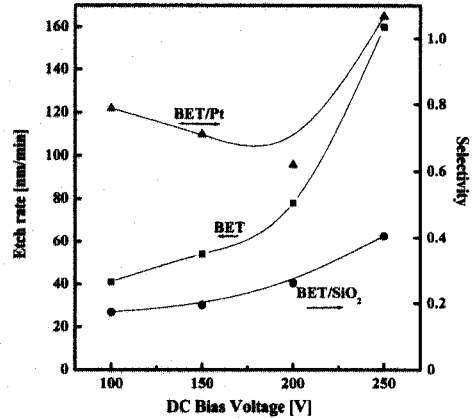


그림 3. DC bias 전압에 따른 BET 박막의 식각률과 Pt와 산화막에 대한 선택비.

Fig. 3. The etch rate of BET as well as the selectivity of BET to Pt and SiO₂ as functions of DC bias voltage.

그림 3에서 나타난바와 같이, DC bias가 증가할수록 BET 박막의 식각률은 증가하고, 식각률은 -250 V일 때 160 nm/min로 가장 높았다. bias가 증가 할수록 이온 충돌 에너지가 증가하여 BET박막의 식각률이 향상된 것으로 판단된다.

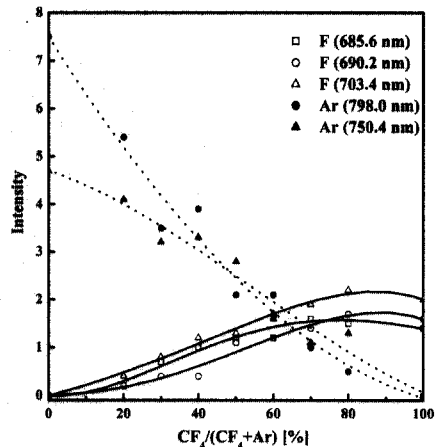


그림 4. CF₄/Ar 플라즈마에서 Ar과 F 원자에 대한 광 방출 세기.

Fig. 4. The variation of emission intensities for F and Ar atoms in CF₄/Ar plasma.

그림 4는 CF₄/Ar 플라즈마에서 Ar과 F 원자에 대한 광 방출 세기의 변화를 보여준다. 그림 4에서 나타난 바와 같이, Ar 플라즈마에 CF₄를 첨가함에 따라 Ar원자의 밀도는 감소하고, F 원자 또는 라디칼들이 증가하였다. 이러한 결과를 식각률과 비교를 할 때, 순수한 Ar을 사용하였을 때 BET 박막의 식각률이 '0'이 아닌 것을 볼 수 있다. 이 결과는 입사되는 Ar 이온이 BET 박막에 물리적인 스퍼터링을 일으킬 수 있다는 것을 보여준다. CF₄/Ar 가스 혼합비를 변화시키에 따라 OES를 측정 한 결과 F와 Ar이 703.7 nm 와 750.4 nm의 파장에서 검출 됐다. CF₄의 함량이 10%까지 증가함에 따라, BET 박막의 식각률이 증가하지만, 10% 이상 첨가하였을 때는 식각률이 급격하게 감소하는 결과가 나타났다. 이 결과는 앞서 설명한 것처럼 BET 박막의 식각을 위해서는 Ar 이온에 의한 스퍼터링이 우세하다는 것을 뒷받침해준다.

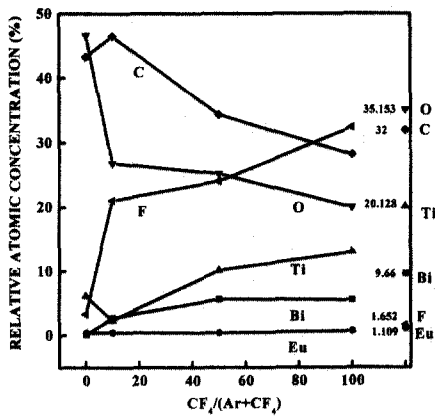


그림 5. CF₄/Ar 가스혼합비에 따라 식각된 BET 박막 표면의 상대적 원소비.

Fig. 5. The relative atomic percentage of the etched BET film as functions of CF₄/Ar gas mixing ratio.

식각 공정에서 F 라디칼의 영향을 고려하기 위해서, 식각 후 BET 박막표면의 상대적인 원소비를 측정하였다. 그림 5는 CF₄/Ar 가스 혼합비 변화에 따라 식각된 BET 박막 표면의 상대적 원소비를 나타냈다. 그림 5에서 Eu의 상대적 원소비는 가스의 혼합비에 따라 거의 변화가 없다. 이런 결과는 Eu이 F 라디칼과 결합하여 생성된 식각 부산물이 낮은 증기압으로 인해 표면에 잔류하기 때문일 것으로 판단된다. CF₄/Ar 가스 혼합비 변화에 따른

TiO₂ 2p 피크 상대적 원소비는 CF₄ 가스가 10% 첨가 되었을 때 가장 낮고, CF₄의 함량이 많아질 수록 증가한다. 이 결과는 Ar의 영향이 줄어들어 Ti-O 결합을 끊을 수 있는 확률이 줄어들고, 따라서 F 라디칼과 반응할 수 있는 Ti가 줄어들기 때문에 Ti-O 피크의 상대적 원소비가 증가하는 것으로 사료된다. Bi의 상대적 원소비는 순수한 Ar 분위기에서 식각 되었을 때 가장 낮은 원소비를 나타낸다. 이러한 결과는 Bi를 식각하기 위해서는 화학적인 식각보다 물리적인 식각이 우세하다는 것을 보여준다.

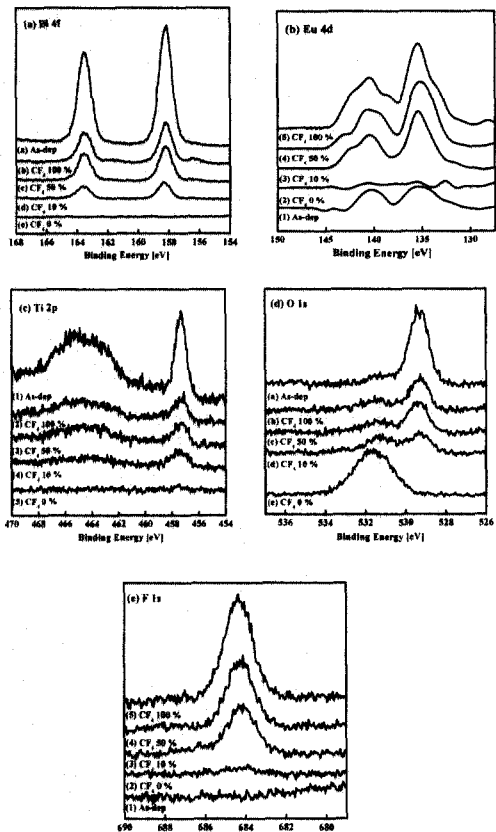


그림 6. CF₄/Ar 혼합비에 따라 식각된 BET 박막의 표면에서 (a) Bi 4f, (b) Eu 4d, (c) Ti 2p, (d) O 1s, (e) F 1s 피크의 XPS narrow scan 스펙트럼.

Fig. 6. (a) Bi 4f, (b) Eu 4d, (c) Ti 2p, (d) O 1s and (e) F 1s XPS narrow scan spectra of BET surface etched with CF₄/Ar gas mixing ratio.

그림 6은 CF₄/Ar 혼합비에 따라 식각된 BET 박막의 표면에서 Bi, Eu, Ti, O 피크의 변화를 나타낸다. 그림 6 (a)는 Bi 4f의 XPS narrow scan 스펙트럼을 보여준다. 158.2 eV와 163.5 eV에서 각각 Bi₂O₃ 4f_{5/2}와 Bi₂O₃ 4f_{7/2} 피크가 나타났다. 여기서 Bi-Ti-O 결합은 Bi₂O₃ (158.2 eV, 163.5 eV)와 중복된다[11]. 스펙트럼 (3)-(5)는 CF₄ 함량이 증가할수록 Bi₂O₃ 4f_{5/2} 와 Bi₂O₃ 4f_{7/2}의 피크 세기가 증가한다. 이 스펙트럼에서 Bi₂O₃ 피크 이외에는 다른 새로운 피크들이 나타나지 않으며, 피크들이 변하지 않는다. 이것은 Bi가 약간의 F과 결합하여 쉽게 휘발되는 특징이 있기 때문이라고 사료된다 [12]. 그림 6 (b)는 Eu₂O₃ 피크의 XPS narrow scan 스펙트럼을 보여주고 있는데, Eu₂O₃ 4d_{5/2}와 Eu₂O₃ 4d_{3/2}의 피크가 각각 135.3 eV와 140.8 eV에서 나타났다. 그러나 Eu 금속은 BET 박막에서 매우 작은량을 차지하고 있기 때문에 표시하기 어려웠다. 스펙트럼 (3)-(5)에서 CF₄ 함량이 증가할수록 피크의 세기가 커지고 넓어지며, 또 다른 피크들이 보인다. 이러한 피크들은 F과 Eu이 결합하여 EuF_x를 생성한 것으로 판단된다. 그러나 EuF_x는 녹는점(EuF₂ : 1380°C, EuF₃ : 1276°C)과 끓는점이 매우 높기 때문에 표면에 잔류하는 성질이 있다 [12]. 그러므로 그러한 화학적인 부산물을 제거하기 위해서는 Ar에 의한 물리적인 스퍼터링이 필요할 것으로 사료된다. 그림 6 (c)는 Ti 2p의 XPS narrow scan 스펙트럼을 보여준다. 각각의 피크들은 TiO₂ 2p_{3/2}와 TiO₂ 2p_{1/2}으로 각각 457.6 eV와 463.8 eV에서 나타난다. 그림에서 보여주듯이 CF₄의 함량이 10%일 때 피크의 크기가 가장 작으며 CF₄의 첨가비가 증가할수록 피크의 세기가 증가한다. 이러한 결과는 Ti가 F과 화학적으로 반응하여 식각될 뿐만 아니라 물리적인 식각이 더해질 때 식각 속도가 증가하는 것으로 판단된다. 그림 6 (d)은 CF₄/Ar 가스 혼합비에 따른 O 1s의 XPS narrow scan 스펙트럼을 보여준다. 스펙트럼에서 두개의 피크가 보이는데 각각 529.3 eV와 531.7 eV에서 나타난다. 첫 번째 피크 (529.3 eV)는 oxide-metal (O-M : TiO₂, Bi₂O₃, Eu₂O₃) 결합이다. 두 번째 피크 (531.7)는 순수 산소보다 높은 결합에너지에서 피크가 나타나는 것으로 보아 C-O, C=O 또는 C-OH 등의 결합이 존재하는 것으로 사료된다[9]. BET 박막이 공기중에 노출됨으로써 불순물과 결합들이 발생하였기 때문에 나타난 결과이다. 순수한 Ar 플라즈마로 BET 박막을 식각한 후에 O-M 결합의 피크 세기는 사라지고 다른 불순물과 결합한 산소의 피크가 크게 나타났다. 이

결과는 O-M 결합을 Ar이온들이 파괴하고 BET 표면에 순수한 산소들이 생겨나기 때문이다. 스펙트럼 (2)-(4)에서 CF₄를 첨가하여 식각 하였을 때 피크들의 변화를 나타낸다. CF₄가스를 첨가함에 따라 O-M 결합이 점차 증가하고 순수한 산소 피크들은 점점 감소한다. 그림 6 (e)는 BET 박막의 F 1s narrow scan 스펙트럼이다. 그림에서 예상할 수 있듯이 Ar 플라즈마 상태에서는 fluorine 성분의 피크가 거의 관찰되지 않았다. 그림에도 불구하고 약간의 피크가 보이는 것은 Ar 플라즈마 식각 시 반응로에서의 BET 박막의 오염으로 인한 것으로 사료된다. CF₄ 가스의 증가에 따라 684 eV의 결합에너지에 갖는 피크가 나타났고 CF₄ 만을 이용한 플라즈마 식각에서는 피크가 최대값을 나타내었다. 이것은 거의 같은 결합에너지를 갖는 M-F의 결합이 중첩되어 나타나는 것이라 판단된다. Ar 이온의 스퍼터링에 의하여 Bi-O, Eu-O, Ti-O, Bi-Ti-O의 결합을 끊고, Bi, Eu, Ti는 BiF₅, TiF₃의 형태로 결합하여 식각된다 [9]. Bi, Eu, Ti의 원소들이 F과 결합하지 못하고 스퍼터링에 의하여 제거 되는 경우도 존재할 것으로 예상된다. F과 결합한 Eu (EuF₂ : 1380°C, EuF₃ : 1276°C)와 TiF₃ (1200°C)의 경우에는 낮은 휘발성분으로 Ar 이온에 의한 스퍼터링의 도움을 받아 제거 되고, BiF₅, TiF₄의 경우에는 비교적 휘발성분이 높기 때문에 쉽게 제거 될 수 있다고 예상할 수 있다[12]. XPS 결과로부터, CF₄ 가스를 첨가함에 따라 Ar 이온에 의한 스퍼터링과 금속 (Bi, Eu, Ti)들과 F 라디칼들의 화학적 결합과 같은 식각 메카니즘을 설명할 수 있다.

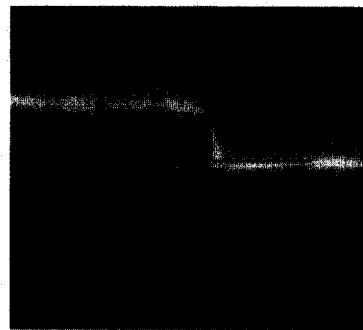


그림 7. CF₄ (10%)/Ar (90%)로 식각된 BET 박막의 SEM.

Fig. 7. The SEM image of BET thin films etched with CF₄ (10%)/Ar (90%) gas mixing ratio.

그림 7은 CF₄(10%)/Ar(90%)로 식각된 BET 박막의 SEM 단면사진이다. 현재 FRAM의 고집적도를 위해 70° 이상의 식각 프로파일을 요구하고 있다. 본 연구에서는 그림 7에서 나타난바와 같이 거의 수직에 가까운 프로파일을 얻었다.

4. 결론

본 연구에서, BET 박막은 유도결합 플라즈마 시스템을 이용하여 식각을 하였다. BET 박막의 식각에는 CF₄/Ar 플라즈마를 사용하였다. Ar 플라즈마로 CF₄ (10%)를 첨가하였을 때 BET 박막의 최고 식각률인 78 nm/min을 얻었으며, 이 때 Pt와 산화막에 대한 선택비는 각각 0.6과 0.26이었다. XPS 결과로부터, Bi는 화학적 식각보다 Ar 이온의 스퍼터링에 의한 식각이 우세하다는 것을 알 수 있었으며, Eu은 CF₄ 가스를 첨가함으로써 F 라디칼과의 반응으로 비 휘발성인 EuF_x 화합물을 형성하여 표면에 잔류하는 것으로 사료되고, Ti는 F 라디칼과 반응함과 동시에 Ar 이온의 스퍼터링으로 제거 된다고 판단된다. 이러한 결과는 OES 분석결과와 유사한 결과를 나타낸다. 즉, OES 결과로부터 CF₄ 첨가비를 증가시키에 따라 F 라디칼이 증가함에도 불구하고 식각률이 감소하는 결과를 보이고, Ar 이온이 감소함에 따라 식각률이 감소한다. 이는 앞서 언급했던 물리적인 스퍼터링과 화학반응으로 인한 휘발성 식각 부산물을 생성하여 식각률을 향상시킬 수 있다는 가정을 뒷받침하는 결과로 볼 수 있다.

참고 문헌

- [1] K. Amanuma, T. Hase, and Y. Miyasaka, "Preparation and ferroelectric properties of SrBi₂Ta₂O₉ thin films", Appl. Phys. Lett., Vol. 66, p. 221, 1995.
- [2] 이재형, 문병무, 고중혁, 구상모, "PLD 기법에 의한 강유전체 SBT/YBCO/LaAlO₃ 헤테로 박막의 제작 및 특성", 전기전자재료학회논문지, 12권, 2호, p. 165, 1999.
- [3] 김태훈, 김병호, 송석표, "MOD 법으로 제조한 강유전성 SBT 박막에서 하부전극이 유전 및 전기적 특성에 미치는 영향", 전기전자재료학회논문지, 13권, 8호, p. 694, 2000.
- [4] 김정태, 김창일, 강동희, 심일운, "비휘발성 메모리 소자응용을 위한 과잉 Bi 첨가에 따른 BLT 박막의 강유전 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 9호, p. 764, 2002.
- [5] Di Wu, Aidong Li, and Tao Zhu, "Ferroelectric properties of Bi_{3.25}La_{0.75}Ti₃O₁₂ thin films prepared by chemical solution deposition", J. Appl. Phys., Vol. 88, p. 5941, 2001.
- [6] U. Chon, K. B. Kim, H. M. Jang, and G. C. Yi, "Fatigue-free samarium-modified bismuth titanate (Bi_{4-x}Sm_xTi₃O₁₂) film capacitors having large spontaneous polarizations", Appl. Phys. Lett., Vol. 79, p. 3137, 2001.
- [7] Kyoung-Tae Kim, Chang-Il Kim, Dong-Hee Kang, and Il-Wun Shim, "The effect of Eu-substituted Bi₄Ti₃O₁₂ thin films prepared by a metal-organic decomposition method", Thin Solid Films, Vol. 422, p. 230, 2002.
- [8] S. B. Majumder, B. Roy, R. S. Katiyar, and S. B. Krupanidhi, "Effect of neodymium (Nd) doping on the dielectric and ferroelectric characteristics of sol-gel derived lead zirconate titanate (53/47) thin films", J. Appl. Phys., Vol. 90, p. 2975, 2001.
- [9] 강필승, 김정태, 김동표, 김창일, 이수재, "Ar/CF₄ 유도결합 플라즈마를 이용한 (Ba_{0.6}Sr_{0.4})TiO₃ 박막의 식각 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 11호, p. 933, 2002.
- [10] 김동표, 김창일, 서용진, 이병기, 장의구, "CF₄/Ar 플라즈마에 의한 BST 박막 식각 특성", 한국전기전자재료학회 하계학술대회 논문집, p. 866, 2001.
- [11] J. Chastain, "Handbook of X-ray Photoelectron Spectroscopy", Perkin-Elmer, Minnesota, 1992.
- [12] "CRC Handbook of Chemistry and Physics", 77th ed. edited by D. R. Lide (CRC Press, Boston, 1996)