

논문 13-12-4

## 자장강화된 유도결합 플라즈마를 이용한 (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> 박막의 식각 특성 연구

### The Etching Characteristics of (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> Thin Films Using Magnetically Enhanced Inductively Coupled Plasma

민병준\*, 김창일\*

(Byung-Jun Min\*, Chang-Il Kim\*)

#### Abstract

Ferroelectric (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> (BST) thin films have attracted much attention for use in new capacitor materials of dynamic random access memories (DRAMs). In order to apply BST to the DRAMs, the etching process for BST thin film with high etch rate and vertical profile must be developed. However, the former studies have the problem of low etch rate.

In this study, in order to increase the etch rate, BST thin films were etched with a magnetically enhanced inductively coupled plasma (MEICP) that have much higher plasma density than RIE (reactive ion etching) and ICP (inductively coupled plasma). Experiment was done by varying the etching parameters such as CF<sub>4</sub>/(CF<sub>4</sub>+Ar) gas mixing ratio, rf power, dc bias voltage and chamber pressure. The maximum etch rate of the BST films was 170 nm/min under CF<sub>4</sub>/(CF<sub>4</sub>+Ar) of 0.1, 600 W/-350 V and 5 mTorr. The selectivities of BST to Pt and PR were 0.6 and 0.7, respectively. Chemical reaction and residue of the etched surface were investigated with X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) and secondary ion mass spectroscopy (SIMS).

**Key Words** : FRAM, BST, Etching, Ar/CF<sub>4</sub>, MEICP, XPS

#### 1. 서론

최근의 정보 통신의 발달로 인해 가속화된 반도체 소자의 집적화와 소형화로 인해 대용량의 DRAM이 요구되어지고 있다. 이런 요구를 충족시키기 위해서 커패시터 유전체재료로 큰 유전상수 값을 갖는 강유전체 물질이 대두하게 되었다[1,2]. 이런 물질들 중에서 (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> (BST)는 우수한 전

기적, 물리적 성질을 가지고 있어[3-6], 대용량 DRAM 커패시터 물질로 각광을 받고 있다. 그러나 BST 박막을 이용한 대용량 DRAM을 제작하기 위해서는 BST 박막의 패터닝 형성이 필수적이나, 식각 공정 기술에 대한 연구가 부족한 실정이다. Tegal에서 BST 박막의 식각에 대해서 언급된 이후[7], K. R. Milkove 등은 RIE (reactive ion etching)와 Cl<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub>, Cl<sub>2</sub>/CF<sub>4</sub>/O<sub>2</sub> 가스를 이용하여 식각하였으며 Cl<sub>2</sub>/SF<sub>6</sub> 가스 플라즈마에서 47.3 nm/min의 식각율을 얻었다[8]. LG에서 ICP (inductively coupled plasma)와 Ar/Cl<sub>2</sub> 가스로 41 nm/min의 식각율을 얻었다고 발표하였으며[9], 김승범 등은 ICP와 Cl<sub>2</sub>/Ar 가스를 이용하여 40 nm/min 정도의 식각율을 얻었으며[10], BCl<sub>3</sub>/Cl<sub>2</sub>/Ar 가스에서 48 nm/min의 식각율

\* : 중앙대학교 전자전기공학부

(서울시 동작구 흑석동 221 중앙대학교,

Fax: 02-812-9651

E-mail : cikim@cau.ac.kr)

2000년 8월 23일 접수, 2000년 12월 6일 심사완료

과 약 65-70° 정도의 식각 단면을 얻었다[11]. K. P. Lee 등은 ICP와  $Cl_2/Ar$ ,  $CH_4/H_2/Ar$  가스를 이용하여 각각 90 nm/min과 10 nm/min의 식각율을 획득하였다[12]. D. S. Wu 등은 ICP 장비와  $Cl_2/CF_4$ ,  $Cl_2/SF_6$ ,  $Cl_2/Ar$  가스에서 각각 약 27 nm/min, 12 nm/min, 12 nm/min 정도의 낮은 식각율을 얻었다[13]. BST를 DRAM 공정에 적용하기 위해서는 보다 빠른 식각율과 수직의 식각 단면을 필요로 한다.

따라서 본 연구에서는 식각율 및 식각 단면 개선을 위해 BST 박막을 ICP에 비해 플라즈마 밀도가 높은 MEICP (magnetically enhanced inductively coupled plasma) 식각장치를 이용하여  $Ar/CF_4$  가스 혼합비, rf 전력, 직류 바이어스 전압 및 반응로 압력을 변화시키면서 식각하여 BST 박막의 식각 메커니즘 및 식각 공정 기술을 연구하고자 한다.

## 2. 실험방법

본 실험에 사용된 기판은 0.85~1.15  $\Omega$ -cm의 비저항을 갖는 붕소(B)를 도핑한 p형 실리콘 웨이퍼이다. 먼저 기판을 1 : 4의  $H_2SO_4 : H_2O_2$  및 10 : 1의  $H_2O : HF$  용액과 탈이온수(deionized water)로 세척한 후, 420 °C에서  $SiH_4$  및  $O_2$  가스를 사용한 저압화학증착법(LPCVD : low pressure chemical vapor deposition)으로 6000 Å의 TEOS(tetraethyl orthosilicate)막을 증착하였다. TEOS막을 증착시킨 후, Pt 박막의 접착력을 좋게 하기 위하여 700Å의 Ti막을 스퍼터 증착하였다. Ti막 위에 Varian 3180 스퍼터링 시스템을 사용하여 상온, 6 mTorr 분위기 하에서 Pt target을 사용하여 2000Å 두께의 Pt 박막을 스퍼터링하여 시료를 제작하였다. BST 박막은 Pt막을 증착한 후 5인치 ( $Ba_{0.5}, Sr_{0.5}$ ) $TiO_3$  세라믹 single target을 사용하여 rf Anelva SPF-201B 스퍼터 시스템에 의하여 증착되었다. BST 박막의 증착은 80%  $Ar$ 과 20%  $O_2$  가스 조성으로 5 mTorr 압력에서 수행되었고, BST 박막의 두께는 2800~3000 Å이었다. 기존 BST 박막의 식각에 사용된 RIE와 ICP 장비로는 DRAM 공정에 적용할 수 있는 식각율을 얻지 못하기 때문에 라디칼과 이온 등의 플라즈마 밀도 및 균일도가 보다 높은 MEICP를 이용하여 BST 박막을 식각하였다.  $Ar/CF_4$ 의 가스 혼합비, 코일의 rf 전력, 직류 바이어스 전압 및 반응로 압력 등의 식각 공정 변수에 따른 식각 특성에 관하여 실험하였고, 이에 대한 식각 메커니즘을 규명하기 위해서 식각전후의 BST 박막의 표면에

대하여 XPS를 이용하여 분석하였다. BST 박막과 패턴 형성을 위한 마스크 물질과의 선택비를 측정하기 위해 PR (Photoresist) 및  $SiO_2$ 도 동일한 조건에서 식각하였다.  $Ar$ 과  $CF_4$ 의 혼합비를 다르게 하여 식각하였을 때, 각각의 원소들이 상대적인 비율 구하여 어떤 효과에 의해서 식각되어 제거되었는지를 분석하였다. 이때 사용된 장비는 VG Scientific사의 ESCALAB 220-IXL이었고, 250 watts의  $Al K\alpha$  (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.

## 3. 결과 및 고찰

그림 1은  $Ar/CF_4$  가스의 혼합비에 따른 BST 박막의 식각율과 식각 마스크 물질로 사용된  $SiO_2$ 와 PR의 선택비 및 하부 전극인 Pt와의 선택비를 나타낸 것이다. 이때 rf 전력/직류 바이어스 전압은 600 W/-300 V, 반응로의 압력은 10 mTorr로 고정시켰다.  $Ar$ 의 비율이 높을수록 BST의 식각율은 증가하고,  $SiO_2$ 와 PR에 대한 선택비도 좋아졌다.  $Ar/CF_4$  가스 혼합비가 9/1인 조건에서 BST의 식각율은 170 nm/min으로 가장 높았다. 이는 BST를 식각하

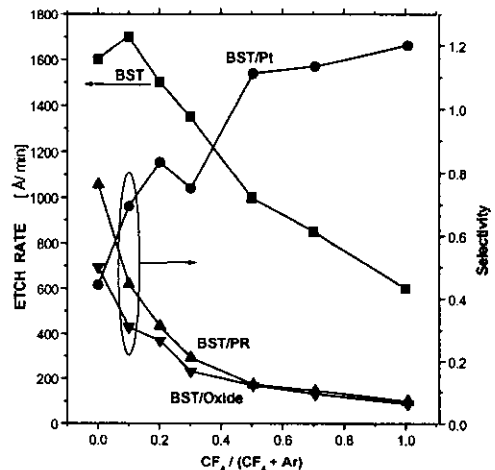


그림 1  $Ar/CF_4$ 의 혼합비에 따른 BST 박막의 식각율 및 선택비.

Fig. 1 The etch rate and selectivity of BST thin films as a function of  $Ar/CF_4$  gas mixing ratio.

는데 있어서 Ar 이온에 의한 스퍼터링 효과가 더욱 크게 작용하기 때문인 것으로 생각된다[3]. 따라서 BST 박막의 식각은 스퍼터링과 F 라디칼에 의한 화학적인 식각에 의해서 더욱 효율적으로 이뤄짐을 알 수 있다. 이 때의 PR 및 SiO<sub>2</sub>와의 선택비는 각각 0.45와 0.31이었다. CF<sub>4</sub>의 첨가량이 증가함에 따라 PR 및 SiO<sub>2</sub>와의 선택비는 감소하는데, 이는 PR 및 SiO<sub>2</sub>를 식각하는데 F 라디칼에 의한 화학적 식각이 더 우세하게 작용하기 때문이다. BST와 Pt의 선택비는 Ar의 첨가비가 높을수록 낮아지는데, 이는 Ar 스퍼터링 효과가 Pt를 식각하는데 있어서 더욱 많이 작용한다는 것을 의미한다. 이 실험을 통해 최고의 식각율을 나타내는 가스 혼합비인 Ar/CF<sub>4</sub> = 9/1 조건을 고정하여 여러 식각 변수에 따른 식각 실험을 하였다.

그림 2는 Ar/CF<sub>4</sub> 가스 혼합비가 9/1인 조건에서 하부의 직류 바이어스 전압과 반응로 압력을 각각 300 V, 10 mTorr로 고정하였고, 코일의 rf 전력을 400~700 W로 변화시키면서 BST의 식각율 및 선택비를 나타낸 것이다. rf 전력이 증가함에 따라 BST 박막의 식각율이 증가하는데, 이는 전력이 증가함에 따라 BST를 식각할 수 있는 Ar 이온 및 F 라디칼의 농도가 증가하기 때문이라 판단된다. BST/Pt의 선택비는 rf 전력이 증가함에 따라 조금 감소하는

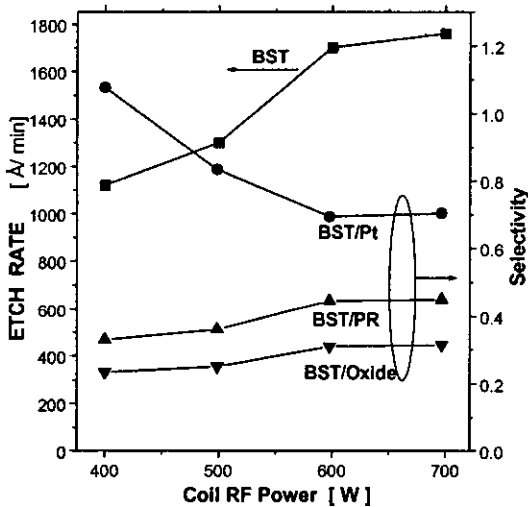


그림 2 rf 전력에 따른 BST 박막의 식각율 및 선택비.

Fig. 2 The etch rate and selectivity of BST thin films as a function of rf power.

반면, BST와 PR 및 SiO<sub>2</sub>의 선택비는 거의 변화가 없음을 나타낸다.

그림 3은 직류 바이어스 전압을 200~350 V로 변화시키면서 식각한 BST 박막의 식각율 및 선택비를 나타낸 것이다. 이때의 rf 전력 및 반응로 압력은 각각 600 W, 10 mTorr, Ar/CF<sub>4</sub> 가스 혼합비는 9/1로 고정시켰다. 직류 바이어스 전압을 증가시키기에 따라 식각율이 증가함을 보인다. 이는 직류 바이어스 전압이 증가함에 따라 Ar 이온들이 BST 박막으로 향하는 운동 에너지가 증가하게 되어, 스퍼터링 효과가 더욱 증가하기 때문이라 판단된다. BST와 Pt, PR, SiO<sub>2</sub>의 선택비는 크게 변화하지 않음을 나타내는데, 이는 Pt, PR, SiO<sub>2</sub>를 식각하는데 있어서도 스퍼터링 효과의 증가로 인하여 바이어스 전압이 증가함에 따라 각 박막의 식각율이 증가하기 때문이라 판단된다.

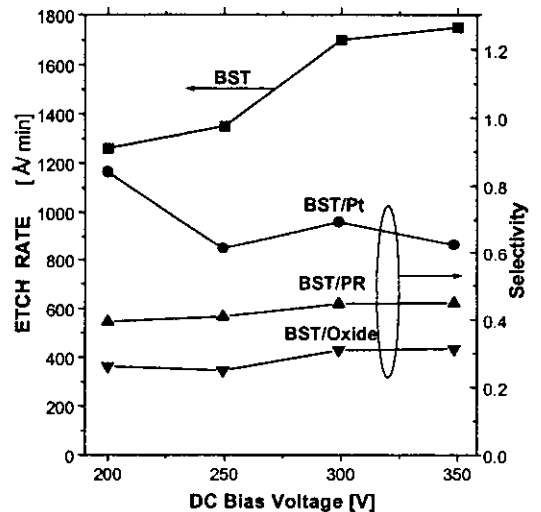


그림 3 직류 바이어스 전압에 따른 BST 박막의 식각율 및 선택비.

Fig. 3 The etch rate and selectivity of BST thin films as a function of DC bias voltage.

그림 4는 반응로의 압력에 따른 BST 박막의 식각율 및 선택비를 나타내는 것이다. 이때의 Ar/CF<sub>4</sub> 가스 혼합비는 9/1로, 코일의 rf 전력/직류 바이어스 전압은 600 W/-300 V로 고정하였다. 반응로의 압력이 낮아질수록 BST의 식각율과 PR 및 SiO<sub>2</sub>와의 선택비는 증가함을 나타내고 있다. 가스 압력의 증가에 따른 라디칼 및 이온 밀도의 증가에도 불구하고

고 BST 식각은 효율적이지 않다. 이는 반응로의 압력이 낮아지면 반응종의 평균자유행정이 길어지고 반응종끼리의 충돌에 의한 운동에너지 손실이 감소되어 Ar에 의한 스퍼터링 효과 및 F 라디칼에 의한 화학적인 식각이 커지기 때문이다. 또한 반응로의 압력이 감소함에 따라 PR 및 SiO<sub>2</sub>와의 선택비가 커지는 결과는 앞에서 언급했듯이 PR 및 SiO<sub>2</sub>의 박막보다 BST 박막의 식각에 스퍼터링 효과가 더 많이 작용하고 PR 및 SiO<sub>2</sub>는 화학적 식각에 의해 식각되므로 반응로 압력에 의한 변화가 적어 선택비가 상대적으로 증가되는 것으로 판단된다. BST 박막과 Pt 박막과의 선택비는 반응로의 압력이 감소함에 따라 선택비가 감소하는데, 이는 스퍼터링 효과가 Pt를 식각하는데 BST의 경우 보다 더욱 강하게 작용하기 때문인 것으로 생각되어 진다.

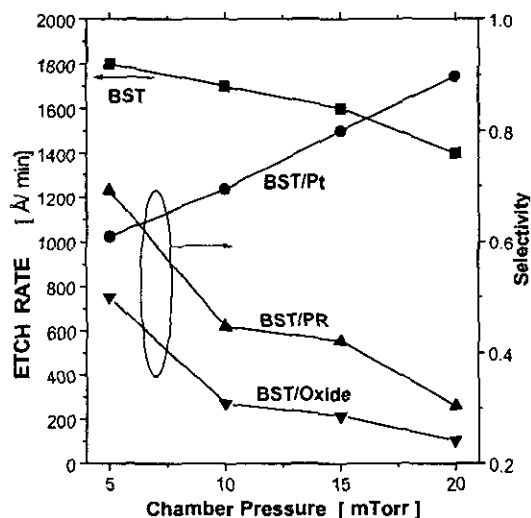


그림 4 반응로 압력에 따른 BST 박막의 식각율 및 선택비.

Fig. 4 The etch rate and selectivity of BST thin films as a function of chamber pressure.

표 1은 Ar/CF<sub>4</sub> 가스 혼합비 변화에 따라 식각된 BST 박막 표면의 상대적인 원소비를 나타내었다. BST 박막 표면에서 상대적인 원소비는 CF<sub>4</sub> 가스가 10%일 때 가장 적은 양을 나타낸다. 이는 Ba, Sr, Ti가 F 라디칼에 의한 화학적인 식각에 영향을 받았으며, 또한 이때 Ar 이온에 의한 스퍼터링의 도움을 받았기 때문이라고 생각된다. O의 경우에는 10% CF<sub>4</sub> 가스를 첨가하여 식각된 시료에서 상대적

표 1 Ar/CF<sub>4</sub> 가스의 첨가율에 따라 식각된 BST 박막의 상대적인 원소의 비.

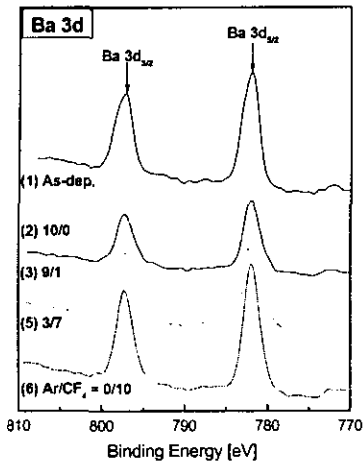
Table 1 The relative atomic percentage of BST thin films etched as a function of Ar/CF<sub>4</sub> gas mixing ratio.

Atom Gas	Ba	Sr	Ti	O	C	F
As-dep	4.164	5.301	9.222	38.668	42.645	0
Ar	7.018	11.638	6.458	28.079	46.765	0
Ar/CF <sub>4</sub> -0/1	1.881	3.813	1.468	8.086	23.01	57
Ar/CF <sub>4</sub> -2/7	2.131	3.828	1.829	8.22	24.662	59.135
CF <sub>4</sub>	2.323	4.318	2.024	8.977	27.087	60.12

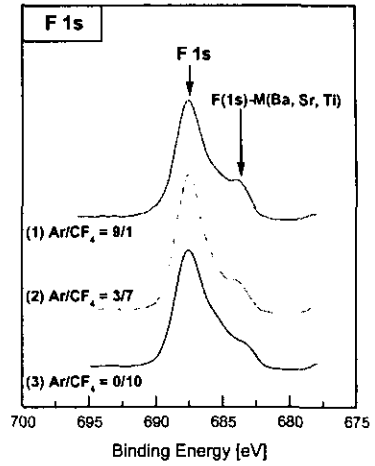
으로 가장 적은 양을 나타내고 있는데, 이는 O를 식각하기 위해서는 화학적인 식각이 더욱 효과적이고 또한 스퍼터링의 도움을 받는 것으로 생각할 수 있다. F의 경우는 CF<sub>4</sub>의 비율 높게 해서 식각한 시료에서 F의 상대적인 양이 많이 나타나는데, 이는 CF<sub>4</sub>의 첨가량이 증가할수록 그만큼 많이 생성된 F 라디칼들이 Ba, Sr과 결합하지 못하고 그대로 BST 박막 표면에 남아있기 때문이라 생각된다.

BST 박막이 실제로 F 라디칼과 어떻게 결합하고 있는지를 분석하기 위해서 XPS narrow scan을 수행하였다. 그림 5는 Ar/CF<sub>4</sub> 가스의 혼합비 변화에 따라 식각된 BST 박막 표면의 (a) Ba 3d, (b) Sr 3d, (c) Ti 2p 및 (d) F 1s의 narrow scan 스펙트럼을 보인 것이다. 그림 5(a)에서 Ba 3d는 782 eV와 797.2 eV에서 두 개의 피크로 나타난다. Ba 3d 피크는 결합 에너지가 각각 782.7 eV와 780.9 eV인 Ba 3d<sub>5/2</sub>-F와 Ba 3d<sub>5/2</sub>-O 결합 피크가 존재하리라 생각된다. 또한 Ba 3d<sub>3/2</sub>의 경우에서도 Ba 3d<sub>5/2</sub>와 같이 3d<sub>3/2</sub>-F와 Ba 3d<sub>3/2</sub>-O 피크가 존재한다. 그림 5(a)에서 나타내는 것과 같이 CF<sub>4</sub>를 첨가함에 따라 Ba 피크는 증가하면서 넓어졌다. 이는 Ba이 F 라디칼과 화학반응을 하지만 반응 생성물인 BaF<sub>x</sub>가 비휘발성이기 때문에 제거되지 않고 표면에 잔류하기 때문이라고 판단된다.

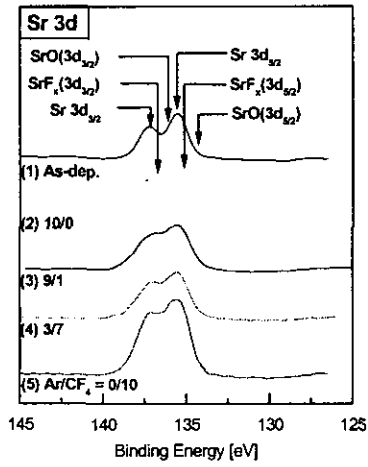
그림 5(b)는 Ar/CF<sub>4</sub> 가스 혼합비에 따라 식각된 BST 박막 표면의 Sr 3d 피크의 narrow scan 스펙트럼을 보인 것이다. Sr 3d 스펙트럼은 135.55 eV와



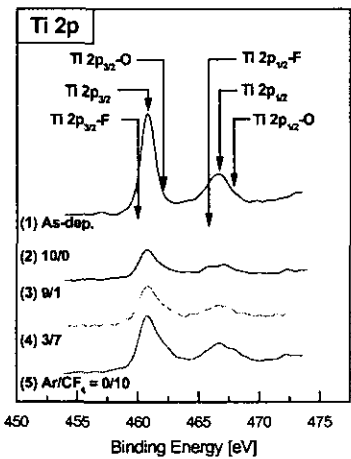
(a) Ba 3d



(d) F 1s



(b) Sr 3d



(c) Ti 2p

그림 5 Ar/CF<sub>4</sub> 가스비에 따라 식각된 BST 박막 표면에서의 (a) Ba 3d, (b) Sr 3d, (c) Ti 2p, (d) F 1s의 XPS narrow scan 스펙트럼.

Fig. 5 (a) Ba 3d, (b) Sr 3d, (c) Ti 2p, (d) F 1s XPS narrow scan spectra of BST thin films etched as function of Ar/CF<sub>4</sub> gas mixing ratio.

137.25 eV에서 각각 Sr 3d<sub>5/2</sub>와 Sr 3d<sub>3/2</sub>의 두 개의 피크로 나타나며, 135.05 eV와 134.4 eV의 결합 에너지에서 각각 Sr 3d<sub>5/2</sub>-F와 Sr 3d<sub>5/2</sub>-O의 피크가 존재하는 것으로 판단된다. CF<sub>4</sub>를 첨가함에 따라 피크는 커지며 넓어지는데, 이는 BST 박막이 식각되면서 Sr-Ti-O와 Ba-Ti-O의 결합이 끊어지고 Ba, Ti가 Sr에 비해서 비교적 쉽게 제거되는 반면, Sr은 휘발성인 SrF<sub>x</sub>를 형성하여 상대적으로 표면에 많이 남아 있기 때문인 것으로 생각된다.

그림 5(c)는 Ar/CF<sub>4</sub> 가스 혼합비에 따라 식각된 BST 박막 표면의 Ti 2p 피크의 narrow scan 스펙트럼을 나타낸 것이다. Ti 2p 스펙트럼은 460.8 eV와 466.65 eV에서 각각 Ti 2p<sub>3/2</sub>와 Ti 2p<sub>1/2</sub>의 두 개의 피크로 나타난다. 또한 462.1 eV에서 Ti 2p<sub>3/2</sub>-F의 피크가 존재하는 것으로 판단되며, CF<sub>4</sub> 가스의 첨가량이 증가함에 따라 약간 증가한다. 이는 Ti의 경우 F 라디칼과의 화학반응을 통해 Sr, Ba에 비해 상대적으로 휘발성이 있는 반응 생성물을 형성하기 때문이라 생각된다.

그림 5(d)는 Ar/CF<sub>4</sub> 가스 혼합비에 따라 식각된 BST 박막 표면의 F 1s 피크의 narrow scan 스펙트럼을 보인 것이다. F 1s 피크는 화학반응을 하지

않은 F 피크와 금속원소와 반응을 한 F-Metal (Ba, Sr, Ti) 피크로 분리할 수 있다. 687.15 eV에서 F의 피크가 나타나고 684 eV에서 F-Metal peak이 나타나며, CF<sub>4</sub>의 첨가에 따라 증가하게 된다. 이는 CF<sub>4</sub>의 첨가량이 증가함에 따라 상대적으로 Ar의 양이 감소하여 BaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub> 및 TiF<sub>4</sub>의 식각이 감소되고, 또한 많이 생성된 F 라디칼이 Ba 등과 결합하지 못하고 그대로 BST 표면에 남아 있기 때문이라 생각된다.

그림 6은 Ar/CF<sub>4</sub>=9/1 조건에서 식각된 BST 박막의 표면에 대하여 SIMS 분석을 한 결과이다. BST 박막은 BaO, Ba-Ti-O, SrO, Sr-Ti-O 등이나, TiO<sub>2</sub>, BaF<sub>2</sub>, SrF<sub>2</sub>, TiF<sub>3</sub>, TiF<sub>4</sub>의 형태로 결합하고 있음을 확인하였다. 또한 Ba, Sr, Ti의 원소들이 F과 결합하지 못하고 스퍼터링 효과에 의하여 제거되는 경우도 존재할 것으로 예상된다.

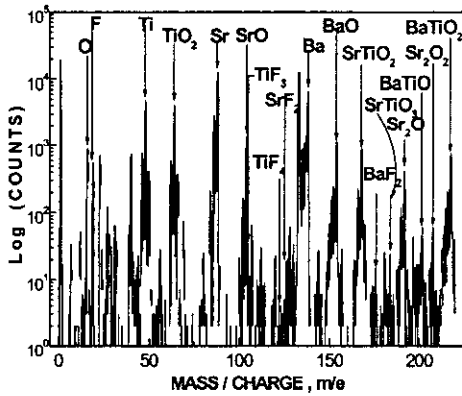


그림 6 Ar/CF<sub>4</sub>=9/1에서 식각된 BST 표면을 SIMS를 이용한 이차이온 질량 분석.

Fig. 6 Mass analysis of BST surface etched with Ar/CF<sub>4</sub>=9/1 by SIMS.

#### 4. 결론

BST 박막을 MEICP 장비와 Ar/CF<sub>4</sub> 가스 플라즈마를 이용하여 식각하였고, 식각 메커니즘을 조사하기 위하여 XPS 및 SIMS 분석을 수행하였다. BST 박막의 최대 식각율은 Ar/CF<sub>4</sub> = 9/1 조건에서 170 nm/min이었으며, BST와 Pt, PR, SiO<sub>2</sub>와의 선택비는 각각 0.6, 0.7 및 0.5이었다. BST 식각은 Ar 이온에 의한 스퍼터링과 F 라디칼에 의한 화학적인 식각이

동시에 작용할 때에 효과적임을 알 수 있었다. 그러나 Ba과 Sr의 경우, F 라디칼과 반응을 하고 있지만, BaF<sub>x</sub>와 SrF<sub>x</sub>의 휘발성 때문에 쉽게 제거되지 못하고 표면에 남아있음을 나타내고 있다. Ti의 경우에는 Ti는 Ar에 의한 스퍼터링의 도움으로 Sr-Ti-O나 Ba-Ti-O의 결합이 끊어지고 F 라디칼과의 화학반응을 통해 Ba, Sr에 비해 상대적으로 높은 휘발성을 가진 TiF<sub>4</sub>의 형태로 식각이 된다고 생각되며, 이때 Ar에 의한 스퍼터링의 도움을 받는다는 것을 확인하였다.

#### 참고 문헌

- [1] T. Kuroiwa, Y. Tsunemine, T. Horikawa, T. Makita, J. Tanimura, N. Mikami and K. Sato, "Dielectric properties of (Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>)TiO<sub>3</sub> thin films prepared by RF sputtering for Dynamic Random Access Memory application", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 33, pp. 823-826, 1991.
- [2] 최준후, 이승석, 김호기, "강유전체 박막의 제조 기술 및 응용", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 7, No. 5, pp. 430-436, 1994.
- [3] K. Koyama, T. Sakuma, S. Yamamichi, H. Watanabe, H. Aoki, Y. Miyasaka and T. Kikkawa, "A stacked capacitor with (Ba<sub>x</sub>Sr<sub>1-x</sub>)TiO<sub>3</sub> for 256M DRAM", IEDM Tech. Digest, pp. 823-826, 1991.
- [4] T. Horikawa, N. Mikami, T. Makita, J. Tanimura, M. Kataoka, K. Sato and M. Nunoshita, Jpn. J. Appl. Phys., "Dielectric properties of (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> thin films deposited by rf sputtering", Vol. 32, No. 9B, pp. 4126-4130, 1993.
- [5] 류정선, 강성준, 윤영섭, "ULSI DRAM의 Capacitor 절연막용 BST (Barium Strontium Titanate) 박막의 제작과 특성에 관한 연구", 전기전자재료학회 논문지, Vol. 9, No. 4, pp. 336-343, 1996.
- [6] M. Y. Sung, H. S. Lee and D. S. Song, "A Study on the Growth of BST Ferroelectric Thin Films by Ionized Cluster Beam Epitaxy Technique and the Analysis of Electrical

- Characteristics", KIEEME Trans. on Electrical and Electronic Materials, Vol. 2, No. 2, pp. 61-67, 1996.
- [7] S. P. DeOrnellas, A. Cofer, "Etching new IC materials for memory devices", Solid State Technol., Vol. 41, pp. 53-56, 1998.
- [8] K. R. Milkove, "Dry etching of (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> with Cl<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub> and CF<sub>4</sub>", Integr. Ferroelectr., Vol. 21, pp. 53-62, 1998.
- [9] H. M. Lee, D. C. Kim, W. Jo and K. Y. Kim, "Inductively coupled plasma etching of (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> thin films", J. Vac. Sci. Tech., B Vol. 16, No. 4, pp. 1891-1893, 1998.
- [10] Seung-Bum Kim, Chang-Il Kim, Eui-Goo Chang and Geun-Young Yeom, "Study on surface reaction (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> thin films by high density plasma etching", J. Vac. Sci. Tech., A Vol. 17, No. 4, pp. 2156-2161, 1999.
- [11] Seung-Bum Kim, Yong-Hyuk Lee, Tae-Hyung Kim, Geun-Young Yeom and Chang-Il Kim, "Etching mechanism of (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> films in high density Cl<sub>2</sub>/BCl<sub>3</sub>/Ar plasma", J. Vac. Sci. Tech., A Vol. 18, No. 4, pp. 1381-1384, 2000.
- [12] K. P. Lee, K. B. Jung, A. Srivastava, D. Kumar, R. K. Singh and S. J. Pearton, "Dry etching of BaSrTiO<sub>3</sub> and LaNiO<sub>3</sub> thin films in inductively coupled plasmas", J. Electrochemical Soc., Vol. 146, No. 10, pp. 3778-3782, 1999.
- [13] D. S. Wu, F. C. Liao, N. H. Kuo, R. H. Horng and M. K. Lee, "Etching characteristics and mechanism of Ba<sub>0.7</sub>Sr<sub>0.3</sub>TiO<sub>3</sub> thin films in an inductively coupled plasma", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 39 No 4B, pp. 2068-2072, 2000.