

Cl₂/Ar 유도결합 플라즈마를 이용한 SBT 박막의 건식 식각 특성

여지원, 김경태, 김동표, 김창일
중앙대학교 전자전기공학부

Dry etching properties of SBT thin films using Cl₂/Ar inductively coupled plasma

Ji-Won Yeo, Kyoung-Tae Kim, Dong-Pyo Kim and Chang-Il Kim
Chung Ang Univ.

Abstract

Among the ferroelectric thin films that have been widely investigated for ferroelectric random access memory (FRAM) applications, the SrBi₂Ta₂O₉ (SBT) thin film is appropriate as a memory capacitor material due to its excellent fatigue endurance. SBT thin films were etched in high-density Cl₂/Ar inductively coupled plasma. The maximum etch rate of SBT film is 1834 Å/min under Cl₂/(Cl₂+Ar) of 30 %, rf power of 700 W, dc-bias voltage of -250 V, chamber pressure of 11 mTorr and gas flow rate of 20 sccm.

Key Words : etching, SBT

1. 서 론

최근 멀티미디어 사회에서 요구하는 빠른 속도와 저소비 전력 메모리인 FRAM의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 FRAM용 커패시터를 개발하기 위하여 Pb(Zr,Ti)O₃, SBT, (Ba,Sr)TiO₃ 등의 유전 상수가 큰 강유전체 박막들이 개발되었다 [1]. 이 중에서 먼저 개발된 PZT는 높은 유전상수와 낮은 결정화 온도를 가지고 있으나, Pb의 유해성과 잔류 분극 량이 감소하는 fatigue현상과 히스테리시스 곡선이 한쪽 방향으로 이동하는 imprint 현상, 그리고 누설 전류로 인한 단점으로 인하여 이러한 단점을 극복하기 위한 (BiO₂)²⁺ 층상 구조를 가지는 SBT 박막을 개발하였다[2]. (BiO₂)²⁺ 층은 피로 특성의 원인인 산소 원소의 결핍을 보상하여 낮은 누설 전류밀도와 피로 특성이 없는 커패시터를 형성 할 수 있다. SBT 박막은 sol-gel법, MOD (metalorganic deposition) 법, sputter법과 MOCVD (metalorganic chemical vapor deposition)법 등과 같은 다양한 방법을 사용하여

형성시킬 수 있다[3-5]. 그러나, 식각은 아직 그 매커니즘의 규명이 어렵고, 반응성이 좋은 할로젠족인 Cl, F 계열의 가스를 사용하여 식각 하여도 부산물의 증기압이 낮아 비휘발성 잔류 막을 형성시키게 된다. 물리적 이온의 충돌에 의해서는 식각률은 좋으나 역시 데미지를 많이 발생시켜 박막의 특성을 감소시킨다[6].

본 연구에서는 강유전체 박막의 특성을 감소시키지 않는 식각 공정이나 잔류 결합물들을 형성하지 않는 식각 기술의 연구를 위해 SBT 박막의 식각 매커니즘을 Cl₂/Ar 플라즈마를 이용하여 식각하였다. 또한 식각 변수인 가스 혼합비, rf 전력, 직류 바이어스 전압 그리고 가스 유량에 따른 식각 속도를 a-step를 이용하여 측정하였다.

2. 실험

본 실험에 사용된 SBT 박막의 제조는 MOD 방법으로 Pt위에 성장되었다. 준비된 SBT 박막의 식각은 ICP 식각 장비를 이용하여 Cl₂/Ar 가스 혼합

비에 따라 식각하였다. ICP 식각 장비는 플라즈마의 발생과 직류 바이어스 전압을 위하여 rf 전력이 각각 상·하부의 전극에 인가하였다. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스 혼합비, 직류 바이어스 전압, rf 전력과 가스 유량을 변화시키면서 식각 속도의 변화를 고찰하였다. 반응로의 압력은 Throttle 밸브를 이용하여 11 mTorr로 고정하였다. 식각 속도는 Tencor a-step surface profiler를 이용하여 측정하였다.

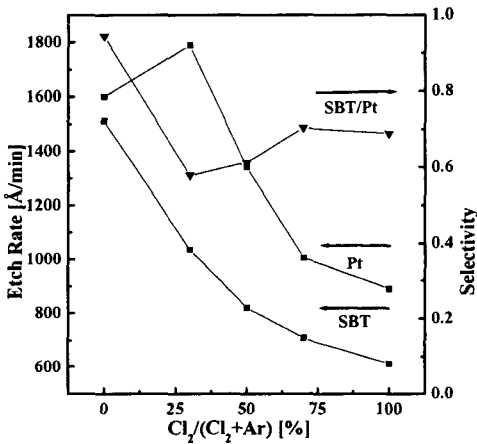


그림 1. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스의 혼합비에 따른 SBT 박막과 Pt의 식각률과 식각 선택비의 변화.

Fig. 1. The etch rate of SBT and the selectivity SBT to Pt as a function of Cl_2/Ar mixing ratio.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스의 혼합비에 대한 SBT 박막과 Pt의 식각 속도, 식각 선택비를 나타낸 것이다. 다른 식각 공정 변수는 700 W의 rf 전력, -250 V의 직류 바이어스 전압, 11 mTorr의 반응로 압력, 20 sccm의 가스 유량으로 고정시켰다. Cl_2 가스가 증가함에 따라 SBT 박막의 식각률은 감소하였다. Ar 가스가 100 %였을 때 1511 Å/min이었던 식각률이 Cl_2 가스를 첨가함에 따라 613 Å/min까지 감소하였다. 즉, SBT 박막을 식각하는데 있어서는 이온에 의한 물리적인 스퍼터링 효과에 의한 식각이 화학반응에 의한 식각보다 월등하게

나타남을 볼 수 있다. Pt의 식각률은 Cl_2 가스가 30 %까지 증가함에 따라 1600 Å/min에서 1788 Å/min까지 증가하였고, 30 %를 넘김과 동시에 감소하기 시작했다. 따라서 Pt의 식각에서는 물리적인 효과에 소량의 Cl_2 가스가 첨가됨으로서 생기는 화학적인 효과가 식각 속도를 더욱 증가시키는 역할을 한다고 생각된다. 그러나, 일정량 이상의 화학적인 반응은 오히려 반응 부산물들을 만들어내어 식각 속도를 저해한다. SBT 박막은 Ar 이온에 의해 Sr-O, Bi-O, Ta-O의 형태로 분리되고 여기에 Cl 가스의 첨가로 인해 Bi-Cl과 같이 휘발성이 높은 물질은 날아간다. SBT 박막 표면에 Sr-Cl과 Ta-Cl의 결합한 것들이 잔류한다. 이러한 식각 부산물들을 얼마나 효율적으로 제거할 수 있는지가 SBT 식각률을 결정하게 된다.

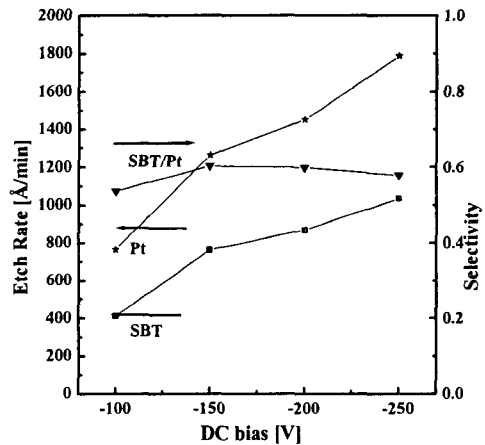


그림 2. 직류 바이어스 전압에 따른 SBT 박막과 Pt의 식각률과 식각 선택비의 변화.

Fig. 2. The etch rate of SBT and the selectivity SBT to Pt as a function of dc-bias voltage.

그림 2는 직류 바이어스 전압에 대한 SBT 박막과 Pt의 식각률과 선택비를 나타낸 그림이다. 이때의 공정 변수들은 700 W의 rf 전력, 11 mTorr의 반응로 압력, 20 sccm의 가스 유량, $Cl_2/(Cl_2+Ar) = 0.3$ 으로 고정시켰다. 직류 바이어스 전압이 증가 할수록 식각률은 SBT 박막과 Pt 양

쪽 모두 증가함을 알 수 있다. 직류 바이어스 전압이 증가하면 Ar이온의 에너지도 또한 높아지게 된다. 따라서 Ar의 물리적인 스퍼터링 효과가 증가하여 식각률이 증가하는 것으로 판단된다. 화학적인 효과와는 다르게 물리적인 힘으로 인한 식각이기 때문에 SBT에 대한 Pt의 식각 선택비는 큰 변화가 나타나지 않는다.

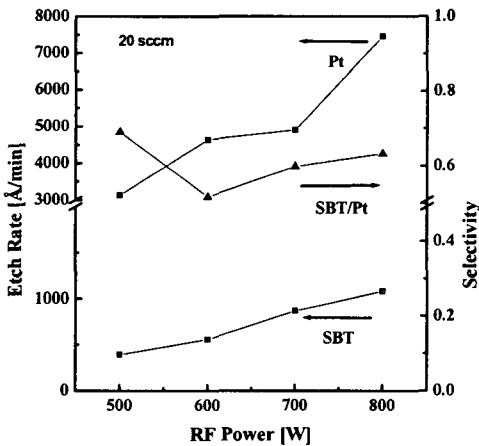


그림 3. rf 전력에 따른 SBT 박막과 Pt의 식각률과 식각 선택비의 변화.

Fig. 3. The etch rate of SBT and the selectivity SBT to Pt as a function of rf power.

그림 3은 rf 전력을 500 W에서 800 W까지 변화시키면서 SBT 박막과 Pt의 식각률과 선택비를 나타낸 그림이다. 다른 식각 공정 변수는 -200 V의 직류 바이어스 전압, $Cl_2/(Cl_2+Ar) = 0.3$, 11 mTorr의 반응로 압력, 20 sccm의 가스 유량으로 고정시켜 놓았다. rf 전력이 증가함에 따라 SBT 박막과 Pt의 식각률은 각각 393 Å/min에서 1081 Å/min, 3138 Å/min에서 7449 Å/min으로 증가한다. rf 전력이 증가하면, Cl 라디칼과 Ar 이온들의 밀도가 증가한다. 전압이 증가함에 따라 플라즈마의 밀도는 증가하고 분자들의 해리가 더 효과적으로 일어나서 결과적으로 더 많은 라디칼과 이온들을 생산한다[7]. 이러한 라디칼과 이온의 증가는 식각률의 증가를 가져오게 된다.

그림 4는 그림 3과 같은 조건에서 가스 유량을

20 sccm에서 50 sccm으로 증가시켜 보았다. 그 이외의 식각 공정 변수는 그림 3과 동일하다. 그러나 가스 유량을 50 sccm으로 늘렸음에도 불구하고 식각률과 선택비는 그다지 큰 차이를 나타내지 못하고 있다. SBT 박막은 20 sccm인 경우와 50 sccm인 경우의 차이가 뚜렷한 것은 아니나 Pt와 같은 경우는 오히려 50 sccm인 경우의 식각률이 더 감소하였다.

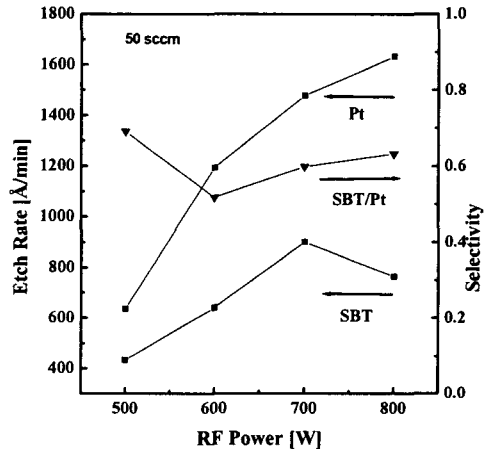


그림 4. rf 전력에 따른 SBT 박막과 Pt의 식각률과 식각 선택비의 변화.

Fig. 4. The etch rate of SBT and the selectivity SBT to Pt as a function of rf power.

4. 결론

본 연구에서 SBT 박막을 ICP 식각 장비를 사용하여 Cl_2/Ar 플라즈마로 식각했다. $Cl_2/(Cl_2+Ar)$ 가스의 혼합비에 대한 식각률을 측정 한 결과, 박막의 식각에는 물리적인 효과를 이용한 식각이 더 유리하였다. 직류 바이어스 전압을 증가시킬수록 높은 Ar 이온의 에너지로 인하여, rf 전력을 증가시킨 경우에는 이온과 라디칼의 영향으로 식각률이 증가하였다. 그러나, 가스 유량을 20 sccm에서 50 sccm으로 늘렸을 경우에는 거의 변화가 없었다. 가장 높은 식각률은 20 sccm 가스 유량, 800 W의 rf 전력, 11 mTorr의 반응로 압력, -200 V 직류 바이어스 전압, $Cl_2/(Cl_2+Ar) = 0.3$ 의 조건에서 1081 Å/min가 얻어졌다.

참고 문헌

- [1] 강남수, "FRAM소자의 제조 기술 현황", 전자 전기재료, 13권 4호, p. 715, 1998.
- [2] C. P. Kim, C. I. Kim, "The surface reaction on $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin films etched in $\text{Cl}_2/\text{CF}_4/\text{Ar}$ inductively coupled plasma", *Microelectric Engineering* 63, p. 373, 2002.
- [3] K. Aizawa, E. Tokumitsu, K. Okamoto, and H. Ishiwara, "Impact of face-to-face annealing in preparation of sol-gel-derived $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin films", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 76(18), p. 2609, 2000.
- [4] M. Noda, H. Sugiyama, and M. Okuyama, "A Study on a metal-ferroelectric-oxide-semiconductor structure with thin silicon oxide film using $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ ferroelectric films prepared by pulsed laser deposition", *J. Appl. Phys.*, Vol. 38(9), p. 5432, 1999.
- [5] T. Masuda, Y. Miyaguchi, K. Suu, and S. sun, "Preparation of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ ferroelectric thin films by RF sputtering on large substrate", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 39(9), p. 5460, 2000.
- [6] S. B. Desu and W. Pan, "Reactive ion etching of ferroelectric $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin films", *Appl. Phys. Lett.* 68(4), p. 566, 1996.
- [7] J. K. Jung and W. J. Lee, "Dry etching Characteristics of $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ Films in CF_4 and Cl_2/CF_4 Inductively Coupled Plasmas", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 40, p. 1408, 2001.