

강유전체막의 CMP 연마 특성

서용진, 박성우, 김경태*, 김창일*, 장의구*, 김상용**, 이우선***

대불대학교 전기공학과, 중앙대학교 전자전기공학부*, 동부아남반도체 **, 조선대학교 전기공학과***

Chemical Mechanical Polishing (CMP) Characteristics of Ferroelectric Film

Y.-J. Seo, S.-W. Park, K.-T. Kim*, C.-I. Kim*, E.-G. Chang*, S.-Y. Kim**, and W.-S. Lee***

DAEBUL University, Chung-Ang University*, Donbu-Anam Semiconductor**, Chosun University***

Abstract

BST thin films have a good thermal-chemical stability, insulating effect and variety of phases. However, BST thin films have problems of the aging effect and mismatch between the BST thin film and electrode. Also, due to the high defect density and surface roughness at grain boundaries and in the grains, which degrades the device performances. In order to overcome these weakness, we first applied the chemical mechanical polishing (CMP) process to the polishing of ferroelectric film in order to obtain a good planarity of electrode/ferroelectric film interface. BST ferroelectric film was fabricated by the sol-gel method. And then, we compared the structural characteristics before and after CMP process of BST films. We expect that our results will be useful promise of global planarization for FRAM application in the near future.

Key Words : Chemical mechanical polishing(CMP), ferroelectrics, sol-gel technique, BST, FRAM, surface roughness, grain, grain boundary, high defect density.

1. 서론

대부분의 CMP [1] 연구는 DRAM이나 logic 제품의 다층 배선 구조의 광역 평탄화를 위해 ILD (inter-layer dielectric)와 IMD (inter-metal dielectric)층, 금속막 등에 집중되어 왔지만, CMP 공정을 FRAM 적용을 위한 강유전체 막에 직접 적용 한 경우는 거의 없다. 종래의 보고에 의하면 BST 강유전체 박막의 전기적 특성은 박막의 불균일성으로 인해 유전손실의 기복이 발생하거나[2], 산소 공급 및 결정립계 (grain boundary)를 통한 전기전도가 일어나 누설전류가 증가하는 등의 문제점은 주로 BST 표면에 결정립이 불규칙적으로 성장되어 표면의 거칠기가 심하고, 표면에 기공이 발생하는 등 구조적 영향으로 인한 계면 특성의 차이에 기인한 것으로 알려져 있다[3, 4]. 따라서 본 논문에서 CMP 공정을 적용할 경우 박막과 Pt

전극사이의 계면을 평탄화시켜 고품질의 계면 특성을 유지할 수 있어 전기적 특성을 개선시킬 뿐만 아니라, 강유전체와 전극계면에 트랩 (trap)된 전하들에 의한 강유전체의 피로특성을 최소화함으로써 고품질의 강유전체 박막을 이용한 FRAM을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 강유전체 박막에 있어서 문제시 되고 있는 계면 특성을 개선하기 위하여 정확한 화학적 조성 조절이 가능하며 대면적의 박막을 제조할 수 있는 장점을 갖는 졸겔법으로 성장된 BST ($Ba_{0.6}Sr_{0.4}TiO_3$) 박막을 실리카, 알루미늄, 티타니아 (TiO_2) 계열의 슬러리를 사용하여 CMP 공정 기술을 적용한 후 연마율과 비균일도 등 연마 특성을 고찰하였다. 또한, AFM을 사용하여 표면의 형상을 관찰하였고, RMS (root mean square), 표면 거칠기, scanning profile 등을 비교하였다.

2. 실험

본 실험에서는 Si 기판 위에 졸-겔법을 이용하여 BST 박막을 형성하였다. 그림 1은 졸겔법을 사용하여 BST 막을 제조하기 위한 공정 흐름도를 보인 것이다. 본 연구의 초점인 BST 강유전체막의 CMP 전후의 표면 특성을 관찰하기 위해 표 1에 보인 공정 조건에서 CMP가 수행되었다.

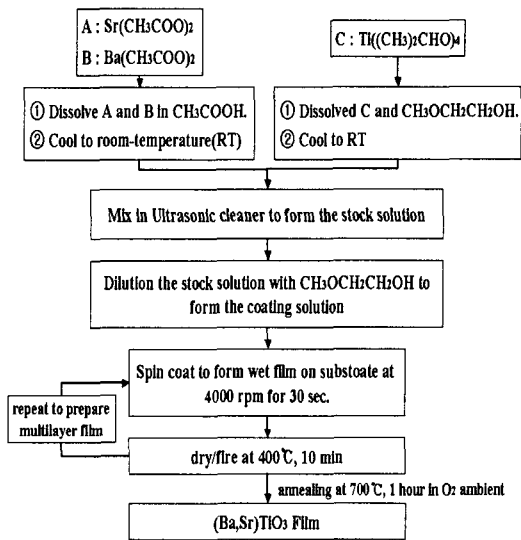


그림 1. BST 박막 공정 개략도

표 1. CMP 장비의 공정 변수.

| Table speed | Head speed | Down force | Slurry flow rate | Polishing time | Post-CMP cleaning |
|-------------|------------|-----------------------|------------------|----------------|-------------------|
| 60 rpm | 60 rpm | 300 g/cm ² | 90 ml/min | 40 sec | Ultrasonic |

CMP 장비는 G & P Technology의 POLI-380을 사용하였고, 슬러리는 실리카, 알루미늄, 티타니아계 슬러리를 사용하였으며, 연마패드는 Rodel사의 IC-1300과 Suba IV 패드를 PSA-II로 접착시킨 이중 패드를 사용하였다. 또한, CMP 전과 후의 표면 형상을 분석하기 위해 AFM을 사용하였다. 강유전체막의 CMP 가능성을 알아보기 위해 서로 다른 4 종류의 슬러리 연마제를 선택하여 CMP 공정을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

현재 강유전체막의 CMP를 위해 상용화된 슬러리가 없기 때문에 현재 상업적으로 시판되고 있는 슬러리를 이용하여 1차적으로 강유전체막의 CMP 특성을 평가할 필요가 있다.

표 2. 슬러리 종류에 따른 연마 제거율과 비균일도 비교.

| 슬러리 | 연마입자 | 경도 | 연마제거율 (nm/min) | 비균일도 (%) |
|-----|--------------------------------|---------|----------------|----------|
| A | SiO ₂ | 6~7 | 345 | 2.2 |
| B | SiO ₂ | 6~7 | 369 | 1.4 |
| C | Al ₂ O ₃ | 8~9 | 397 | 1.7 |
| D | TiO ₂ | 5.5~6.5 | 320 | 1.5 |

표 2는 슬러리 연마제의 종류에 따른 CMP 후 연마율과 비균일도 특성을 나타낸 것이다. 실리카 계열의 슬러리 A는 345 [nm/min]의 연마율과 2.2%의 비균일도 특성을 나타낸 반면, 슬러리 B는 369 [nm/min]의 연마율과 1.4%의 매우 낮은 비균일도 특성을 나타내었다. A와 B의 경우 모두 동일한 연마제와 동일한 경도 (hardness) 특성을 갖고 있지만, 아마도 각 회사의 미세한 슬러리 케미컬의 차이로 인해 예상대로 약간 다른 연마 특성을 나타내었다. 그러나 알루미늄 계열의 슬러리 C의 경우에는 연마율은 397 [nm/min]로 상당히 증가하였으나, 비균일도가 다소 증가하였다. 이는 실리카 보다 더 hard한 경도를 갖는 알루미늄 연마제로 인해 기계적인 힘이 증가하였기 때문일 것이다. 이상과 같이 상용되고 있는 실리카 슬러리와 알루미늄 슬러리의 연마 특성을 예측한 것을 토대로 본 연구에서 제안하는 티타니아 슬러리를 적용하여 보았다. 이 슬러리는 실리카 슬러리에 티타니아를 1 wt% 섞은 MAS (mixed abrasive slurry)로 320 [nm/min]의 낮은 연마율을 보였지만 비균일도는 매우 우수한 특성을 나타내었다. 이는 앞에서 예측한 것처럼 티타니아의 경도가 5.5~6.5로 실리카와 알루미늄 연마제보다 더 soft하기 때문에 연마율은 다소 떨어지지만, 슬러리 케미컬에 의해 표면을 연화시킨 후, 연마되어야 하는 (BaSr)/TiO₃ 막과 동일한 성분인 soft한 티타니아 연마제에 의해 기계적으로 연마하는 과정에서 비균일도 특성은 향상시킨 것으로 생각된다. 이상과

같이 전형적인 CMP 특성을 고찰 한 다음, CMP 후의 표면 형상과 RMS 거칠기를 조사하기 위해 AFM 분석을 실시하였다.

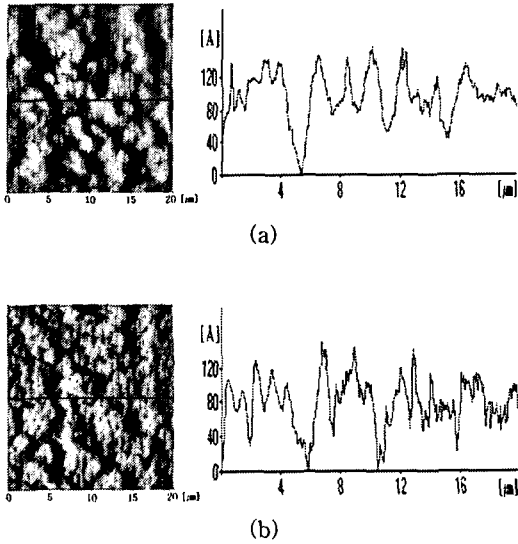


그림 2. 열처리된 BST 박막의 AFM 표면사진과 프로파일링 비교. (a) CMP전, (b) CMP후 (slurry #A).

그림 2(a)는 BST 박막을 스핀 코팅 후 400℃에서 10분 동안 BST 박막을 건조시킨 후의 표면형상과 x축을 따라 0 μm에서 20 μm까지 스캐닝하면서 얻은 프로파일링에 의한 단차 (step height)를 보인 것이다. 표면 사진에서 볼 수 있듯이 불규칙적인 결정립 (grain)들이 형성되어 있고 상당히 많은 기공들이 관찰되었다. 그리고 프로파일링 결과에서 보듯이 상당히 높은 단차를 보이고 있으며, RMS 거칠기는 4.25 nm이었다. 그림 2(b)는 실리카 슬러리 A를 사용하여 CMP 한 후의 표면형상과 단차 특성을 보인 것이다. 표2에 보인 예비실험결과와 마찬가지로 CMP 후에 표면이 더 매끄러워지고 있으며 단차 또한 감소함을 볼 수 있었다. 이 시료의 RMS 거칠기는 3.53 nm로 감소하였으나 여전히 많은 기공들이 보이고 있어 서론에서 지적하였듯이 전기적 특성에 많은 변화가 있을 것으로 예측된다. 또한, 표면의 roughness가 개선되어 열처리후 결정립 분포를 균일하게 하여 반도체 저항률을 감소시킬 것으로 예상된다.

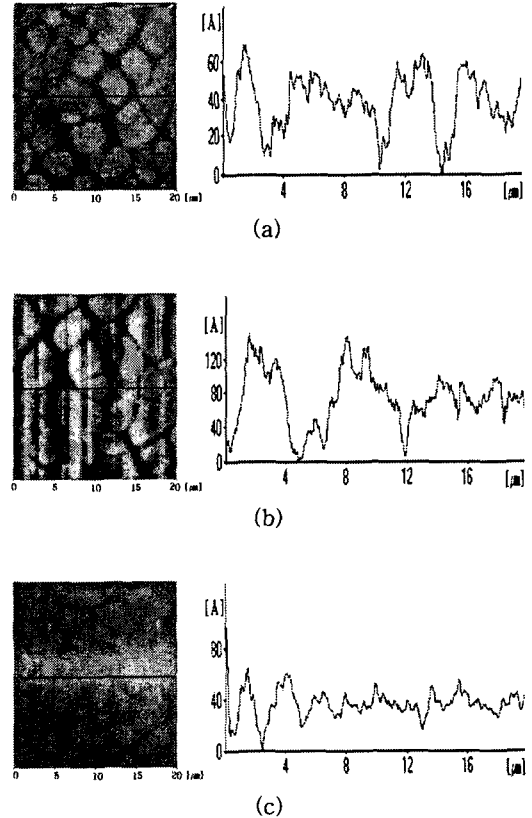


그림 3. 열처리한 박막을 CMP한후 AFM 표면사진과 프로파일링 분석 (a) 실리카 슬러리 (#B), (b) 알루미나 슬러리 (#C), (c) Ti 연마제를 1 wt% 첨가한 실리카 슬러리 (#D).

그림 3(a)는 그림 2에 보인 as-deposited 시료를 700 ℃에서 1시간 동안 열처리한 시료를 실리카 슬러리 B를 가지고 CMP한 후, 측정된 AFM 표면사진과 단차 특성을 보인 것이다. 그림 2에 보인 불규칙적인 결정립 구조와는 달리 열처리에 의해 결정립들이 대략 5 μm 크기로 재성장하여 규칙적인 결정립 구조를 보이고 있으며 CMP에 의해 표면특성이 매우 양호함을 관찰할 수 있다. 특히 많은 기공들이 감소하였고, 결정립계 (grain boundary)가 매우 뚜렷하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한 단차도 상당히 감소하였으며 RMS 거칠기는 1.8 nm로 매우 개선됨을 알 수 있다. 그림 3(b)는 동일하게 열처리한 BST 박막을 알루미나계 슬러리 C를 가지고 CMP한 결과이다. 그림

3(a)의 결과와 비슷한 연마특성을 보이고는 있으나 아직 결정립들의 표면이 완전히 연마되지 않아 결정립과 결정립계 사이의 단차가 상당히 높음을 관찰할 수 있다. 이 시료의 RMS 거칠기는 2.97 nm이었다. 마지막으로 그림 3(c)는 본 연구에서 제안하는 자체 제작한 티타니아 연마제가 혼합된 실리콘 슬러리인 MAS의 CMP 특성을 보인 것이다. 그림 3의 (a)와 (b)보다 훨씬 우수한 표면형상을 나타내고 있으며 단차 또한 현저하게 감소하였으며, BST 표면 품질이 개선되었음을 볼 수 있다. 이 RMS 거칠기는 1.5 nm로 매우 낮은 양호한 값을 나타내었다. 따라서 기존의 식각 공정에 의해 부산물이 표면에 잔류하게 되어 박막의 특성을 저하시키는 문제점을 CMP 공정으로 대처하여 개선할 수 있음을 알 수 있었다. 표 3은 슬러리 종류에 따른 RMS와 표면 거칠기를 요약하여 나타낸 것이다.

표 3. 슬러리 종류에 따른 RMS와 roughness.

| Kind of slurry | RMS(nm) | Roughness(nm) |
|----------------|---------|---------------|
| #1 | 4.25 | 3.43 |
| #2 | 3.53 | 2.83 |
| #3 | 1.81 | 1.44 |
| #4 | 2.98 | 2.26 |
| #5 | 1.50 | 1.12 |

4. 결 론

슬러리 종류에 따라 BST 박막의 CMP 특성을 알아본 결과, 연마입자의 경도가 높을수록 연마율이 증가함을 알 수 있었다. 비균일도는 1.4~2.2 %로 아주 우수한 특성을 나타내었다. 또한, CMP한 후에 박막의 표면이 연마되어 grain boundary가 명확히 보임을 알 수 있어 식각 공정에 의해 부산물이 표면에 잔류하게 되어 박막의 특성을 저하시키는 문제점을 CMP 공정으로 대처하여 개선할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 CMP 전후의 AFM을 분석한 결과, 티타니아 연마제를 1 wt% 첨가할 때 가장 우수한 RMS와 roughness를 나타냄을 알 수 있었다. 이는 표면의 roughness가 개선되어 결정립 분포를 균일하게 하여 MFS 커패시터 또는 트랜지스터의 계면 특성이 향상되어 표면상태 트

램밀도가 감소되어 국부적인 전류밀도의 집중을 피할수 있고 누설전류 개선, 그레이를 채널영역으로 사용할 수 있어 전기적 특성의 개선을 기대할 수 있다. 향후 본 연구를 토대로 MFS 커패시터를 제작하여 CMP 전후의 전기적 특성과 누설전류를 개선시키는 연구를 수행할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2002년 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2002-041-D00235).

참고 문헌

- [1] Yong-Jin Seo and Sang-Yong Kim, "Effects of Various Facility Factors on Chemical Mechanical Polishing Process defects, Japanese Journal of Applied Physics", Vol. 41, No. 11A, pp. 6310-6312, 2002.
- [2] Takeharn, "Dielectric Properties of $(\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x})\text{TiO}_3$ Thin Film Prepared by RF Sputtering for Dynamic Random Access Memory Application", Jpn. J. Appl. phys. Vol. 33, p. 5190, 1994.
- [3] T. Atsuki et al, "Preparation of Bi-Based Ferroelectric Thin Films by Sol-Gel Method," Japanese Journal of Applied Physics", Vol. 34, No. 9B, pp. 5096-5099, 1995.
- [4] F. wang, et al, " $\text{Ba}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{TiO}_3$ Ferroelectric Film Prepared with the Sol-Gel Process and its Dielectric Performance in Planar Capacitor Structure", J. Mater. Res. Vol. 13, No. 5, p. 1243, 1998.