

論文2000-37SD-4-2

## Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> 박막의 제작과 그 특성에 관한 연구 (Preparation of a Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> Thin Film and Its Electrical Properties)

姜聲俊\*, 張東勳\*\*, 閔庚填\*\*, 金成珍\*\*\*  
鄭陽喜\*\*\*, 尹英燮\*\*

(Seong Jun Kang, Dong Hoon Chang, Kyung Jin Min, Sung Jin Kim, Yang  
Hee Joung, and Yung Sup Yoon)

### 요 약

Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (BIT) 박막을 acetate 계 precursor 를 이용한 sol-gel 법으로 제작한 후, 구조적 및 전기적 특성을 조사하여 NVFRAM (Non-Volatile Ferroelectric RAM)으로의 응용가능성을 조사하였다. DT-TG (Differential Thermal-Thermal Gravimetric) 분석으로 drying 온도와 annealing 온도가 각각 40 0°C 와 650°C 인 BIT 박막의 열처리조건을 확립하였다. Pt/Ta/SiO<sub>2</sub>/Si 기판 위에 제작된 BIT 박막은 완전한 orthorhombic perovskite상을 가지며, 입자크기가 약 100 nm 이고 표면 거칠기는 약 70.2 Å 으로 비교적 치밀한 형상을 나타내었다. 10 kHz 의 주파수에서 비유전률과 유전손실은 각각 176 과 0.038 이었으며, 100 kV/cm 의 전기장에서 누설전류밀도는 4.71 μA/cm<sup>2</sup> 이었다. ±250kV/cm 에서 이력곡선을 측정할 결과, 잔류분극 (P<sub>r</sub>)과 항전계 (E<sub>c</sub>)는 각각 5.92 μC/cm<sup>2</sup> 과 86.3 kV/cm 이었다. BIT 박막에 ±5 V 의 사각펄스를 인가하여 피로특성을 측정할 결과, 잔류분극은 초기값 5.92 μC/cm<sup>2</sup> 에서 10<sup>9</sup> 회에서는 3.95 μC/cm<sup>2</sup> 로 약 33 % 감소하였다.

### Abstract

A Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> (BIT) thin film is prepared by sol-gel method using acetate precursors and evaluated whether it could be applied to NVFRAM (Non-Volatile Ferroelectric RAM). The drying and the annealing temperature are 400°C and 650°C, respectively and they are determined from the DT-TG (Differential Thermal-Thermal Gravimetric) analysis. The BIT thin film deposited on Pt/Ta/SiO<sub>2</sub>/Si substrate shows orthorhombic perovskite phase. The grain size and the surface roughness are about 100 nm and 70.2 Å, respectively. The dielectric constant and the loss tangent at 10 kHz are 176 and 0.038, respectively, and the leakage current density at 100 kV/cm is 4.71 μA/cm<sup>2</sup>. In the results of hysteresis loops measured at ±250 kV/cm, the remanent polarization (P<sub>r</sub>) and the coercive field (E<sub>c</sub>) are 5.92 μC/cm<sup>2</sup> and 86.3 kV/cm, respectively. After applying 10<sup>9</sup> square pulses of ±5V, the remanent polarization of the BIT thin film decreases as much as about 33% from 5.92 μC/cm<sup>2</sup> of initial state to 3.95 μC/cm<sup>2</sup>.

\* 正會員, 麗水大學校 半導體·應用物理學科  
(Dept. of Semiconductor and Applied Physics, Yosu National Univ.)

\*\* 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科  
(Dept. of Electronic Materials & Device Engineering, Inha Univ.)

\*\*\* 正會員, 麗水大學校 電氣 및 半導體工學科  
(Dept. of Electronic Materials & Device Engineering, Inha Univ.)

※ 이 논문은 1998 년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의해 연구된 논문입니다.

接受日字:1999年7月22日, 수정완료일:2000年2月23日

I. 서론

반도체 및 정보통신 산업의 급속한 발전에 따라, 우수한 전기적 특성과 광학적 특성을 갖는 강유전체 박막을 메모리소자, 압전소자, 적외선 검출소자, 전기광학소자 등에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>[1-4]</sup> 특히, 1980년대 이후 미국과 일본 등지에서 강유전체의 박막화에 대한 연구가 집중적으로 이루어지면서, 강유전체 박막의 고유한 특성인 분극반전과 이력 특성을 이용한 비휘발성 메모리인 NVFRAM (Non-Volatile Ferroelectric RAM)에 대한 연구가 주목을 받고 있다.<sup>[5-6]</sup> 그러나, 이들 NVFRAM의 수명과 신뢰성을 제한하는 퇴화현상들이 이들 메모리의 실용화에 커다란 장애가 되고 있다. 특히, 이들 퇴화현상 중 반복되는 읽기/쓰기 (read/write) 횟수가 증가함에 따라 분극량이 감소하는 피로 (fatigue) 현상이 가장 문제가 되고 있다.<sup>[7-8]</sup> 현재, NVFRAM 소자의 응용을 위해 가장 많이 연구되어온 PZT (Pb[Zr<sub>x</sub>Ti<sub>1-x</sub>]O<sub>3</sub>) 박막은 읽기/쓰기 횟수가 10<sup>6</sup>을 지나면서 분극값이 급격히 줄어드는 경향을 나타내어 피로특성이 열악한 문제점이 있다.<sup>[9-10]</sup> 이들 피로특성을 개선하기 위해 제안되고 있는 방법 중의 하나가 perovskite 층이 Bi<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 층에 의해 보호를 받고 있는 층상 perovskite 구조를 가지는 새로운 강유전체 박막을 사용하는 것이다.<sup>[11-12]</sup> SBT (SrBi<sub>2</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub>)와 BIT (Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub>) 등이 주로 연구되고 있는 층상 perovskite 구조의 강유전체 박막인데, SBT 박막은 상형성 온도가 800°C 정도로 반도체 공정에 이용하기에는 다소 높으며 이로 인해 표면이 거칠고 많은 pore가 발생하여 제조에 어려움이 있는 반면에, BIT는 상형성 온도가 650°C 이하로 비교적 낮아 반도체 공정에 부합되며 높은 curie 온도 (~685°C)로 인해 thermal imprint 효과도 적고, 구성 성분도 2성분계 (Bi, Ti)로서 제작하기가 용이한 장점을 가지고 있다.<sup>[13]</sup> 그러나, BIT 박막에 대한 연구는 1970년대 초 S. Y. Wu 등<sup>[14]</sup>이 RF sputtering 방법으로 BIT 박막을 제작한 이래로 우수한 특성을 갖는 박막제작이 용이하지 않아 담보상태에 머물러 있고, 이에 따라 NVFRAM 응용에 필수적인 피로특성 등에 대한 연구도 미흡한 실정이다. BIT 박막의 제작에 가장 많이 사용되어온 방법은 sol-gel 법이다. Sol-gel 법은 precursor와 용매의 종류와 비에 따라 특성이 현저하게 달라지지만, 그 동안은 nitrate

계의 precursor를 사용하는 방법이 주류를 이루어왔기 때문에 precursor의 변화에 따른 박막 특성에 대한 연구도 부족하였다.

따라서, 본 연구에서는 그 동안 주로 사용되었던 nitrate계 precursor 대신에 acetate계의 precursor를 선택하여 최적의 sol-gel 법을 확립한 후, BIT 박막을 제작하여 그 물성과 NVFRAM 소자의 응용에 필수적인 피로특성 등의 전기적 특성을 조사하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 BIT 박막을 sol-gel 법으로 제작하였으며, 제작과정에 대한 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

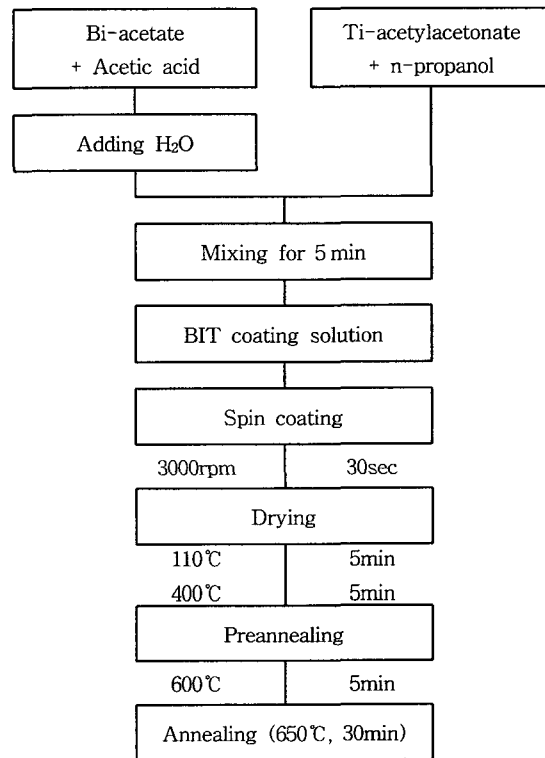


그림 1. BIT 박막의 제작공정도  
Fig. 1. Preparation procedure of BIT thin film.

출발물질로는 Bi acetate [Bi(CH<sub>3</sub>CO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>, Strem], Ti (di-isopropoxide) bis (acetylacetonate) [Ti(CH<sub>3</sub>COCHCOCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (OC<sub>3</sub>H<sub>7</sub>)<sub>2</sub>, 75% in propanol, Strem]를 사용하였으며, 용매 및 안정화제로 glacier acetic acid (Acros)와 H<sub>2</sub>O를 사용하였고, 점도조절을 위해 n-propanol (Acros)을 첨가하였다. 출발물질로 사용

되는 각 precursor 들은 공기중의 수분에 대한 영향을 방지하기 위해 질소 분위기의 glove box 내에서 칭량한 후, clean bench 내에서 Bi 와 Ti stock solution 을 제작하였다. Bi stock solution 은 상온에서 Bi-acetate 를 acetic acid 로 1차 용해시킨후 H<sub>2</sub>O 를 이용하여 완전히 용해시켜 제작하였으며, Ti stock solution 도 상온에서 Ti-acetylacetonate 와 n-propanol 을 혼합하여 제작하였다. 개별적으로 제작된 각 stock solution 을 혼합하여 0.2 M 의 coating solution 을 제작하였다. 제작된 coating solution 은 회전도포시 0.2 μm filter (Gelman Science) 를 이용하여 걸러서 사용하였다. 박막은 clean bench 내에서 회전도포기 (ABLE, AM-4096) 을 사용하여 3000 rpm 에서 30 초 동안 회전시켜 Pt-Ta/SiO<sub>2</sub>/Si 기판위에 형성시켰다. 코팅이 끝나면 110°C와 400°C에서 각각 5분씩 건조시키고, 600°C에서 5분간 preannealing 을 실시하였다. 그 후, 650°C 에서 30분간 열처리하여 박막의 제작을 완료하였다. 이와 같이 제작된 BIT 박막 위에 직경 0.2mm 의 상부전극을 증착시켜 평판구조의 캐패시터를 제작하였다.

유기물의 분해 온도 및 상전이 온도를 확인하고, 유기물이 제거되어 최종적으로 얻어지는 무기 산화물인 BIT의 무게 감량 정도를 알아보기 위해 DT-TG (Differential Thermal - Thermal Gravimetric, TA Instrument, Thermal Analysis 2000) 분석을 실시하였다. BIT 박막의 결정화 특성은 X-Ray Diffractometer (PHILIPS PW 3020, CuKα) 를 이용하여 분석하였고, 표면상태는 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy, Hitachi S-4300) 과 AFM (Atomic Force Microscopy : Topometrix, AccurexII) 을 이용하여 관찰하였다. BIT 박막의 두께는 ellipsometer (PLASMOS, SD 2300) 와 SEM 을 이용하여 구하였다. 유전특성과 누설전류밀도는 각각 LCR meter (Stanford Research, SR 720) 와 Parameter Analyzer (HP4145B) 를 이용하여 측정하였으며, RT66A Standardized Ferroelectric Test System (Radiant Technologies) 을 이용하여 BIT 박막의 이력 곡선과 피로현상을 측정하였다.

III. 결과 및 논의

건조 gel 의 열분해 거동을 조사하기 위해 0.2M 의

용액을 80 °C에서 열처리하여 건조시킨후 10°C/min 의 승온속도로 공기중에서 DT-TG 분석을 하였으며, 그 결과를 Fig. 2 에 나타내었다. 340°C 부근에서 나타나는 발열 peak 는 금속 산화물의 형성에 의한 것이며, 610°C 에서 나타나는 발열 peak 는 perovskite 상의 생성 때문인 것으로 생각된다. 따라서, perovskite 상을 형성시키기 위해서는 610°C 이상에서의 열처리가 필요하다고 생각된다. 이와 같은 분석을 이용하여 drying 온도와 annealing 온도가 각각 400°C 와 650°C 인 박막의 열처리 조건을 결정하였다. 또한, 전체적인 중량감소는 대략 24% 정도로 C. J. Kim 등<sup>[15]</sup>이 nitrate 계의 precursor 를 이용하여 보고한 약 40% 에 비해 무게 감량 정도가 현저히 줄어든 것이다. 이는 nitrate 계에 비해 acetate 계의 열분해 거동이 공기중에서 좀 더 안정적이라는 것을 나타내는 것이다.

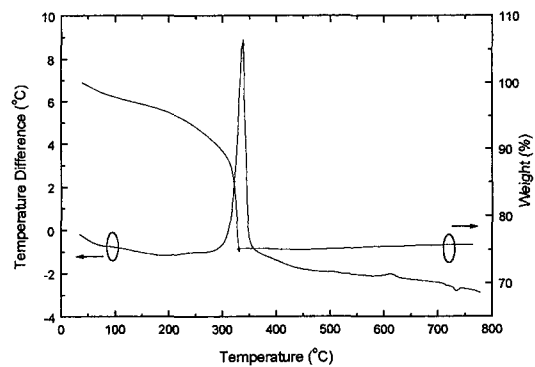


그림 2. 80°C 에서 건조시킨 BIT gel 의 TGA-DTA 곡선  
Fig. 2. TGA-DTA curve of BIT gel heat-treated at 80°C.

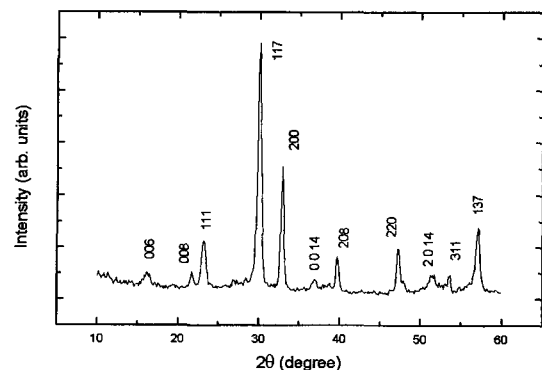


그림 3. 650°C 에서 30분 동안 열처리된 BIT 박막의 XRD pattern  
Fig. 3. XRD patterns of BIT thin film annealed for 30 min at 650°C.

BIT 박막의 결정화 및 결정의 배향성을 조사하기 위해 Pt/Ta/SiO<sub>2</sub>/Si 구조를 가지는 기판위에 박막을 형성시킨 후, 650°C 에서 30분간 열처리한 BIT 박막의 XRD 측정 결과를 Fig. 3 에 나타내었다. Fig. 3 에서 보듯이, BIT 박막의 XRD pattern 에서 나타난 (006), (111), (117), (200) 면들에 상응하는 peak 들과 다양한 표준 물질들의 결정학적 및 광학적 data 와 회절 pattern data 를 수록한 JCPDS data 를 비교한 결과, orthorhombic perovskite 상을 나타내는 BIT 박막의 주 peak 들로 확인되었다. 따라서, 650°C 에서 열처리한 박막은 다른 상의 생성없이 완전한 orthorhombic perovskite 상을 형성하는 것을 알 수 있었다.

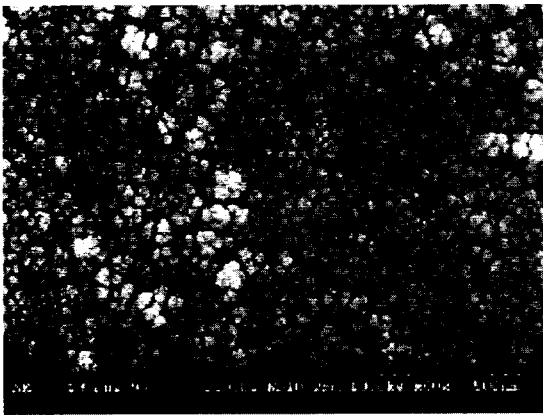


그림 4. 650°C 에서 30분간 열처리된 BIT 박막의 SEM 사진  
Fig. 4. FE-SEM micrograph of BIT thin film annealed for 30 min at 650°C.

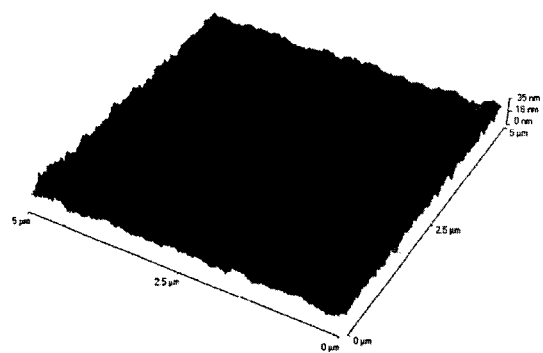


그림 5. 650°C 에서 30분 동안 열처리된 BIT 박막의 AFM 사진  
Fig. 5. AFM image of BIT thin film annealed for 30min at 650°C.

Fig. 4 는 650°C 에서 30분간 열처리한 BIT 박막의 SEM 표면 사진이다. Fig. 4로부터 BIT 박막의 grain size 가 약 100 nm 로 결정화가 이루어졌음을 확인할 수 있는데, 이러한 grain size 는 P. C. Joshi 등<sup>[16]</sup>이 60~167 nm 범위로 grain size 를 보고한 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 각 grain 들이 약간 cluster 형태로 뭉쳐져 있는 것처럼 보이지만, 전체적으로는 균일하게 분포하고 있고 균열이 없는 비교적 치밀한 구조를 나타내었다. 이로부터 본 연구에서 제작된 BIT 박막의 표면상태는 상당히 양호하다고 생각된다.

표면 거칠기 (RMS roughness) 는 AFM 을 이용하여 시편의 표면 상태를 조사하여 정량적인 수치로 나타낸 것으로서, 표면 거칠기와 같은 표면 상태는 강유전체 박막을 소자에 응용할 경우, 상부전극과 강유전체 박막과의 계면특성에 영향을 미쳐 전기적 특성 등에 영향을 미칠 수 있는 중요한 요소이다.<sup>[17]</sup> 본 연구에서는 650°C 에서 30분 동안 열처리된 BIT 박막의 표면 거칠기를 정량적으로 분석하기 위해 AFM 을 이용하였으며, 그 결과를 Fig. 5 에 나타내었다. AFM 으로 측정된 BIT 박막의 표면 거칠기는 약 70.2Å 이었으며, 비교적 치밀한 형상을 나타내었다. 이 결과는 C. J. Kim 등<sup>[15]</sup>이 acetate 계의 precursor 를 사용하여 보고한 83Å 에 비해 우수한 값이다.

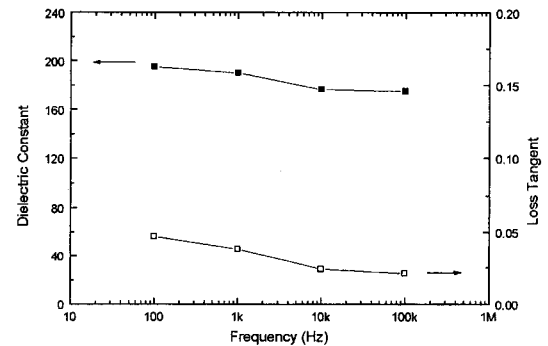


그림 6. 주파수 변화에 따른 BIT 박막의 비유전률과 유전손실  
Fig. 6. Dielectric permittivity and loss tangent as a function of frequency for the BIT thin film.

650°C 에서 30분간 열처리된 BIT 박막의 주파수에 따른 유전특성을 Fig. 6 에 나타내었다. 10kHz 의 주파수에서 비유전률과 유전손실은 각각 176 과 0.038 이었다. 강유전체에 교류전기장을 인가하면, 전기장의 방향에 따라 유전분극이 바뀌며 주파수가 증가함에 따라

유전분극이 전기장의 변화를 따라가지 못하여 비유전률이 감소하고 유전손실이 발생하게 된다. 이와 같이 주파수가 증가함에 따라 비유전률이 감소하는 현상을 이상분산이라고 한다. 비유전률의 주파수 의존성은 분극기구와 밀접하게 연관 되어있다. 전자분극이나 이온 분극에 기인하는 이상분산은  $10^7$  Hz 이상의 상당히 높은 광학적 주파수대에서 일어나며 계면분극에 기인하는 이상분산은  $10^4$  Hz 이하의 저주파 영역에서 발생한다.<sup>[18]</sup>  $10^4 \sim 10^7$  Hz 까지의 주파수에서는 쌍극자들의 배향에 의한 배향분극이 비유전률에 기여한다.<sup>[19]</sup> 그러므로 측정주파수 범위 내에서 BIT 박막의 비유전률이 주파수가 증가함에 따라 감소하는 주원인은 입자경계 뿐만 아니라 전극과 BIT 박막사이의 계면에서 발생하는 계면분극효과 때문일 것으로 생각된다. 또한, 유전손실은 주파수가 증가함에 따라 감소하는데 이는 일반적으로 유전손실이 주파수에 반비례 ( $\tan \delta = \sigma / \omega \epsilon'$ ) 하기 때문이다.<sup>[20]</sup>

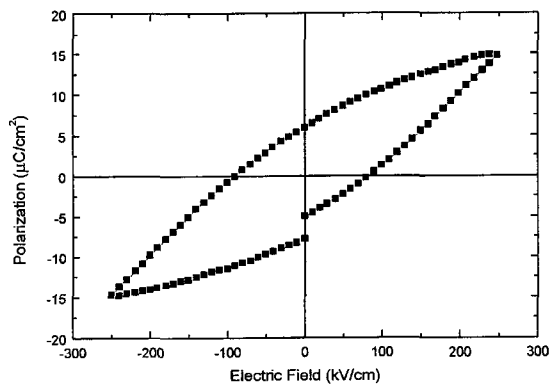
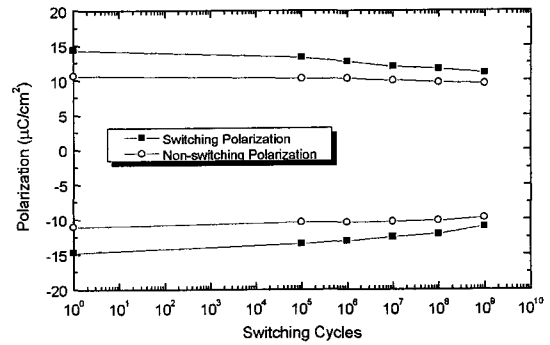
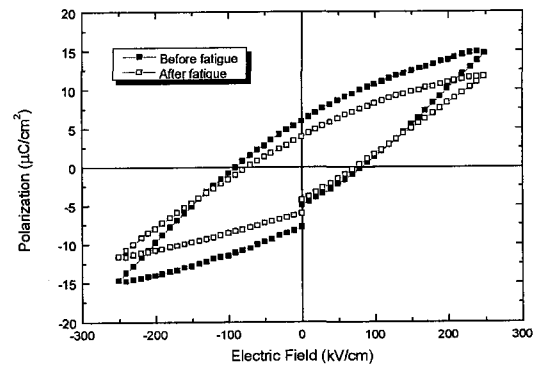


그림 7. BIT 박막의 이력곡선  
Fig. 7. Hysteresis loop of BIT thin film.

강유전체 박막을 NVFRAM 에 응용할 경우, 잔류분극의 크기가 충분히 큰 강유전상을 가지는 물질이 적합하다. Fig. 7 은  $\pm 250$  kV/cm 에서 측정된 BIT 박막의 이력곡선을 나타낸 것이다. BIT 박막의 잔류분극 ( $P_r$ ) 과 항전계 ( $E_c$ ) 는 각각  $5.92 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  과  $86.3$  kV/cm 로 비교적 우수한 강유전성을 나타내었다. 잔류분극은 bulk BIT 단결정과 epitaxial 박막에서 관찰된 c-축 분극 ( $4 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ) 보다는 조금 크나 a-축 분극 ( $50 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ ) 보다는 매우 작았다. 항전계는 c-축 배향 ( $3.5$  kV/cm) 이나 a-축 배향 ( $50$  kV/cm) 에 비해 큰 값을 나타내었다. 이는 작은 입자크기의 영향이거나 BIT 박막과 전극간의 열팽창 차이에 따른 stress 때문인 것으로 생각된다.<sup>[21]</sup>



(a)



(b)

그림 8. (a) 50 kHz switching cycle 에서의 BIT 박막의 피로특성과 (b) 피로 전후의 hysteresis loop

Fig. 8. (a) Fatigue characteristics of BIT thin film on 50 kHz switching cycles and (b) hysteresis loops before and after fatigue.

강유전체 박막을 NVFRAM 에 응용할때, 반복되는 읽기/쓰기 횟수가 증가함에 따라 전기적 스트레스를 받은 강유전체 박막의 분극량이 감소되는 피로현상이 가장 중요한 문제로 대두되고 있다. 따라서, 강유전체 박막에 대한 피로특성의 연구는 NVFRAM 응용에 필수적이다. Fig. 8 (a) 에 BIT 에  $\pm 5$  V 의 사각펄스 (square pulse) 를 인가하여 분극반전횟수에 대한 switched polarization ( $P^*$ ) 과 non-switched polarization ( $P^*$ ) 값을 나타내었고, 피로현상 전, 후의 이력곡선을 Fig. 8 (b) 에 나타내었다. 여기서, switched polarization 은 이력곡선의 시작점 ( $-P_r$ )에서부터 최대분극 ( $+P_{max}$ ) 까지의 분극을 의미하며, non-switched polarization 은 최대분극 ( $+P_{max}$ ) 과 양의 잔류분극 ( $+P_r$ ) 의 차이를 의미한다. Switched polarization 과 non-switched polarization 값은  $10^9$  회까지 점진적으로 감소하는 추세를 나타내었으며, 잔류분극 ( $P_r$ ) 은 초기

상태의  $5.92 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  로부터  $10^9$  회에서는  $3.95 \mu\text{C}/\text{cm}^2$  로 약 33% 정도 감소하였다. 이와 같은 결과는  $3 \times 10^8$  회에서 잔류분극이 초기값의 약 60% 감소한 결과를 보여준 A. Kakimi 등<sup>[22]</sup>의 연구보다는 우수한 것이지만 NVFRAM에 응용하기에는 다소 미흡한 결과이다. 따라서, 추후 박막제작법 등에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

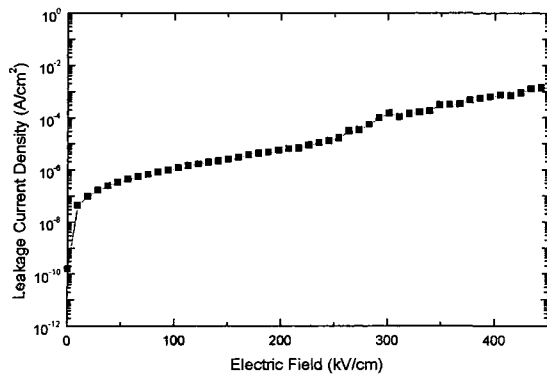


그림 9. BIT 박막의 누설전류밀도

Fig. 9. Leakage current density of BIT thin film.

누설전류는 강유전체 박막을 메모리 소자에 응용하고자 할 때 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 누설전류가 증가하면 소비전력이 증가하고 박막에 인가되는 전기장이 제한되는 등의 문제가 발생되기 때문이다. Fig. 9는 BIT 박막의 누설전류밀도를 나타낸 것이다. Fig. 9에서 보듯이, 100 kV/cm의 전기장에서 누설전류밀도는  $4.71 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  이었는데, 이는 NVFRAM에 응용하기에는 다소 높은 값이다. BIT 박막의 경우, annealing 과정 중에 발생한 Bi와 산소공공들이 전도에 기여하여 누설전류특성을 저하시키는 것으로 알려져 있으므로 누설전류특성의 개선을 위해서는 도너도핑(donor doping) 등에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

#### IV. 결론

Acetate계 precursor를 이용한 sol-gel 법으로 BIT 박막을 제작하여, 구조적 특성 및 전기적 특성에 대해 조사하였다. 건조 gel의 열분해 거동을 조사하기 위해 DT-TG 분석을 한 결과, 340°C 부근에서 금속 산화물의 형성에 의한 발열 peak와 610°C에서 perovskite 상의 생성을 각각 관찰할 수 있었으며 이를 근거로

drying 온도와 annealing 온도가 각각 400°C와 650°C인 BIT 박막의 열처리 조건을 결정하였다. BIT 박막의 XRD 측정으로부터, 완전한 orthorhombic perovskite 상이 형성되는 것을 알 수 있었다. SEM과 AFM 측정으로부터, BIT 박막의 입자크기가 약 100 nm이고 표면거칠기가 약 70.2 Å으로, 비교적 균일하고 치밀한 표면형상을 나타냄을 확인할 수 있었다. 10 kHz의 주파수에서 비유전률과 유전손실은 각각 176과 0.038이었으며  $\pm 250$  kV/cm에서 이력곡선을 측정한 결과, 잔류분극( $P_r$ )과 항전계( $E_c$ )는 각각  $5.92 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 과 86.3 kV/cm로 비교적 우수한 강유전성을 나타내었다. NVFRAM 응용에 가장 중요한 문제 중의 하나로 제기되고 있는 피로특성을 조사하기 위해  $\pm 5$  V의 사각펄스를 인가하여 분극반전횟수에 대한 switched polarization( $P^*$ )과 non-switched polarization( $P^*$ ) 값과 피로현상 전, 후의 이력곡선을 조사하였다. Switched polarization과 non-switched polarization 값은  $10^9$  회까지 점진적으로 감소하는 추세를 나타냈으며, 잔류분극( $P_r$ )은 초기상태의  $5.92 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로부터  $10^9$  회에서는  $3.95 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 로 약 33% 정도 감소하였다. 또, BIT 박막의 누설전류밀도는 100 kV/cm의 전기장에서  $4.71 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 로 측정되었다. 피로특성이나 누설전류밀도는 NVFRAM에 응용하기에는 다소간 미흡한 결과이나, annealing 과정에서 발생할 수 있는 Bi나 산소공공의 생성을 억제할 수 있는 도너도핑 및 박막 제작기술 등에 대한 연구를 수행한다면 보다 우수한 특성을 나타내는 박막을 제작할 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

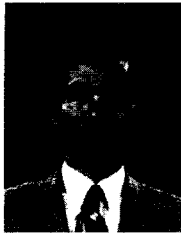
- [1] C. P. de Araujo, J. F. Scott and G. W. Taylor, *Ferroelectric thin films: synthesis and basic properties*, Gordon and Breach Publishers, Amsterdam, pp. 1~8 (1996).
- [2] Seong Jun Kang and Yung Sup Yoon, "Optical and Electrical Properties of Lanthanum-Modified Lead Titanate Thin Films with Various Lanthanum Concentrations", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 36, no. 7A, pp. 4459~4465 (1997).
- [3] Seong Jun Kang, Vladimir B. Samoilov and Yung Sup Yoon, "Low-Frequency Response of

- Pyroelectric Sensors", *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 45, no. 5, pp. 1255~1260 (1998).
- [4] F. Wang and G. H. Heartling, "A PLZT Optical Phase Modulator and Its Applications", *Proc. of 1992 IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics*, pp. 596~599 (1992).
- [5] S. Sinharoy and H. Buhay, D. R. Lampe and M. H. Francombe, "Integration of Ferroelectric Thin Films into Nonvolatile Memories", *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 10, pp. 1554~1561 (1992).
- [6] O. Auciello, J. F. Scott and R. Ramesh, "The Physics of Ferroelectric Memories", *Physics Today*, pp. 22~27, July (1998).
- [7] B. G. Chae, S. J. Lee, C. R. Cho, Y. S. Yang, S. H. Kim and M. S. Jang, "Fatigue Effects of Metal-doped PZT Thin Films", *Integrated Ferroelectrics*, vol. 13, pp. 87~96 (1996).
- [8] H. M. Duiker, P. D. Beale, J. F. Scott, C. A. Paz de Araujo, B. M. Melnick, J. D. Cuchiaro and L. D. McMillan, "Fatigue and Switching in Ferroelectric Memories: Theory and Experiment", *J. Appl. Phys.*, vol. 68, pp. 5783 (1990).
- [9] S. B. Desu, D. P. Vijay and I. K. Yoo, "Donor-Doped Lead Zirconate Titanate ( $PbZr_xTi_{1-x}O_3$ ) Films", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol. 335, pp. 53 (1994).
- [10] Q. Jiang, W. Cao and I. E. Cross, "Electric Fatigue in Lead Zirconate Titanate Ceramics", *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 77, pp. 211~215 (1994).
- [11] T. Kijima, S. Satoh, H. Matsunaga and M. Koba, "Ultra-Thin Fatigue-Free  $Bi_4Ti_3O_{12}$  Films for Nonvolatile Ferroelectric Memories", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 35, no. 2B, pp. 1246~1250 (1996).
- [12] J. F. Scott, F. M. Ross, C. A. Paz de Araujo, M. C. Scott and M. Huffman, "Structure and Device Characteristics of  $SrBi_2Ta_2O_9$ -Based Nonvolatile Random-Access Memories", *MRS Bulletin*, pp. 33~39 (1996).
- [13] E. Kato, Y. Watanabe, T. Tsukamoto and T. Tsuchiya, "Preparation of Highly Oriented Bismuth Titanate Thin Films by Sol-Gel Process", *J. Ceram. Soc. Jpn.*, vol. 104, pp. 1015~1018 (1996).
- [14] S. Y. Wu, W. J. Takei, M. H. Francombe and S. E. Cummins, "Domain Structure and Polarization Reversal in Films of Ferroelectric Bismuth Titanate", *IEEE Trans. Sonics Ultrason.*, vol. SU-19, pp. 217~224 (1972).
- [15] C. J. Kim, C. W. Chung and K. S. Lee, "Crystallization and Electrical Properties of  $Bi_4Ti_3O_{12}$  Films Derived From Bismuth Acetate and Bismuth Nitrate Precursor Solutions", *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, vol. 493, pp. 255~260 (1998).
- [16] P. C. Joshi and S. B. Desu, "Structural and Electrical Characteristics of Rapid Thermally Processed Ferroelectric  $Bi_4Ti_3O_{12}$  Thin Films Prepared by Metalorganic Solution Deposition", *J. Appl. Phys.*, vol. 80, pp. 2349~2357 (1996).
- [17] 강성준, 장동훈, 윤영섭, "RF Magnetron Reactive Sputtering 법으로 제작한 BST 박막의 전기적 및 계면 특성에 관한 연구", *전자공학회 논문지*, vol. 35D, 5, pp. 451~457 (1998)
- [18] A. J. Moulson and J. M. Herbert, *Electroceramics: Materials, Properties, Applications*, Chapman & Hall, London, pp. 58~69 (1995).
- [19] J. J. Lee and S. K. Dey, "Cubic Paraelectric (Nonferroelectric) Perovskite PLT Thin Films with High Permittivity for ULSI DRAM's and Decoupling Capacitors", *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 39, pp. 1607~1612 (1992).
- [20] W. D. Kingery, H. K. Bowen and D. R. Uhlmann, *Introduction of Ceramics*, John Wiley & Sons, New York, pp. 937 (1976).
- [21] P. C. Joshi and S. B. Krupanidhi, "Structural and Electrical Studies on Rapid Thermally Processed Ferroelectric  $Bi_4Ti_3O_{12}$  Thin Films by Metallo-Organic Solution Deposition", *J. Appl. Phys.*, vol. 72, pp. 5827~5833 (1992).
- [22] A. Kakimi, S. Okamura, S. Ando and T.

Tsukamoto, "Effect of O<sub>2</sub> Gas Pressure in Heat Treatment on Surface Morphology and Electric

Properties of Ferroelectric Bi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> Thin Films with c-Axis Orientation", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 34, no. 9B, pp. 5493~5497 (1995).

저 자 소 개



尹 英 燮(正會員)

1952년 9월 7일생. 1975년 2월, 서울대학교 금속공학과 졸업(B.S.). 1977년 2월, 한국과학원 재료공학과 졸업(M.S.). 1988년 12월 U.S.C. 전자공학과 졸업(Ph. D). 1987년 3월~1988년 5월, Oklahoma State

University 대우교수. 1988년 12월~1989년 6월, UCLA Device Research Lab. 연구원. 1989년 8월~1992년 2월, 삼성전자 기흥반도체연구소 수석연구원. 1996년 4월~현재, 인하대학교 전자재료공학과 부교수. 주관심분야 : ULSI DRAM을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device



張 東 勳(正會員)

1971년 3월 13일생. 1995년 2월 수원대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 1997년 8월 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 1997년 9월~현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심분야 : ULSI

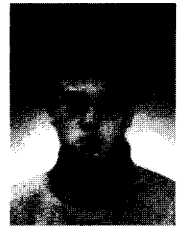
DRAM 응용을 위한 강유전체 박막



姜 聲 俊(正會員)

1965년 7월 10일생. 1989년 2월, 인하대학교 응용물리학과 졸업(B.S.). 1994년 8월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 1999년 2월, 인하대학교 전자재료공학과 졸업(Ph. D.). 2000년 2월~현재, 여수대학교

반도체·응용물리학과 전임강사. 주관심분야 : ULSI DRAM 응용을 위한 강유전체 박막, 차세대 비휘발성 메모리(NVFRAM 및 MFSFET) 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서



閔 庚 顯(正會員)

1972년 11월 19일생. 1998년 2월 인하대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 1998년 2월~인하대학교 전자재료공학과 석사과정. 주관심분야 : 초전형 적외선 센서 응용을 위한 강유전체 박막



鄭 陽 喜(正會員)

1960년 12월 25일생. 1983년 단국대학교 응용물리학과 졸업(B.S.). 1985년 인하대학교 응용물리학과 졸업(M.S.). 1993년 인하대학교 응용물리학과 졸업(Ph.D). 1988년~1995년, LG 반도체 선임연구원. 1995년~현재,

연수대학교 전기 및 반도체 공학과 조교수. 주관심분야 : 반도체 재료 및 공정, 강유전체 박막



金 成 珍(正會員)

1973년 9월 18일생. 1999년 2월 강원대학교 재료공학과 졸업(B.S.). 1999년 2월~현재 인하대학교 전자재료공학과 석사과정. 주관심분야 : 강유전체 박막 및 초전형 적외선 센서