

論文2001-38SD-5-3

(Ba,Sr)TiO₃ 커패시터의 Thermally Stimulated Current 분석 (Thermally Stimulated Current Analysis of (Ba,Sr)TiO₃ Capacitor)

金容周*, 車宣龍*, 李熙哲*, 李基善**, 徐光錫***

(Yong-Ju Kim, Seon-Yong Cha, Hee Chul Lee, Ki-Seon Lee, and Kwang-Suck Suh)

요약

고유전 (Ba,Sr)TiO₃ (BST) 박막을 이용한 DRAM storage capacitor의 저전계 영역에서의 전하손실을 발생시키는 커패시터의 누설전류는 유전완화전류와 진성 누설전류로 이루어진다고 알려져 있다. 특히, 기가급 DRAM의 동작 전압(~1V)에서 유전완화전류가 진성 누설전류에 비해 훨씬 크기때문에 이에 대한 심도있는 연구가 필요하다. 본 연구에서는 thermally stimulated current (TSC) 측정법을 BST 박막에 처음으로 적용하여 트랩의 에너지 level 및 공정변화에 따른 트랩 밀도의 상대적 평가를 하였다. 그리고 기존에 사용되던 전류-전압(I-V) 측정이나 전류-시간(I-t) 측정과 비교 및 분석함으로써 유전완화 전류의 원인을 규명하고 TSC 측정법의 신뢰성을 살펴보았다. 먼저 안정적인 TSC 측정을 위해 전계, 시간, 온도 및 승온속도에 따른 polarization condition을 알아 보았다. 이 조건을 이용한 TSC 측정으로부터 BST 박막에서의 트랩의 energy level이 0.20(±0.01) eV와 0.45(±0.02) eV임을 알 수 있었다. Rapid thermal annealing (RTA) 을 이용한 후속 열처리에 따른 TSC 측정을 통하여 이 트랩들이 산소결핍(oxygen vacancy)에 기인함을 확인할 수 있었다. MIM BST 커패시터의 열처리에 대한 TSC 특성은 전류-전압(I-V) 및 전류-시간(I-t) 특성과 같은 경향성을 보인다. 이것은 TSC 측정이 BST 박막내의 트랩을 평가하는데 있어서 매우 효과적인 방법이라는 것을 보여준다.

Abstract

It has been known that the leakage current in the low field region consists of the dielectric relaxation current and intrinsic leakage current, which cause the charge loss in dynamic random access memory (DRAM) storage capacitor using (Ba,Sr)TiO₃ (BST) thin film. Especially, the dielectric relaxation current should be seriously considered since its magnitude is much larger than that of the intrinsic leakage current in giga-bit DRAM operation voltage (~1V). In this study, thermally stimulated current (TSC) measurement was at first applied to investigate the activation energy of traps and relative evaluation of the density of traps according to process change. And, through comparing TSC to early methods of I-V or I-t measurement and analyzing, we identify the origin of the dielectric relaxation current and investigate the reliability of TSC measurement. First, the polarization condition such as electric field, time, temperature and heating rate was investigated for reliable TSC measurement. From the TSC measurement, the energy level of traps in the BST thin film has been investigated and evaluated to be 0.20(±0.01) eV and 0.45(±0.02) eV. Based on the TSC measurement results before and after rapid thermal annealing (RTA) process, oxygen vacancy is concluded to be the origin of the traps. TSC characteristics with thermal annealing in the MIM BST capacitor have shown the same trends with the current-voltage (I-V) and current-time (I-t) characteristics. This means that the TSC measurement is one of the effective methods to characterize the traps in the BST thin film.

* 正會員, 韓國科學技術院 電子電算學科 電氣 및 電子
工學

(Dept. of EE & CS, KAIST)

** 正會員, 忠南大學校 物理學科

(Dept. of Physics, Chungnam National Univ.)

*** 正會員, 高麗大學校 材料金屬工學部 材料工學科

(Dept. of Material Science Korea Unive.)

接受日字:2000年6月5日, 수정완료일:2001年4月23日

I. 서론

Dynamic random access memory (DRAM) 소자는 지금까지 괄목할 만한 발전을 거듭해왔으며 현재에도 많은 연구를 통하여 고집적화가 이루어지고 있다. DRAM의 집적도가 증가됨에 따라 해결해야 할 중요한 과제중의 하나로 셀저장 커패시터 관련 공정을 들 수 있다. 일반적으로, 양산성이 있는 커패시터는 약 25~30 fF 으로 알려지고 있다. 그러나, 최소선폭 감소로 인한 cell 의 투영면적이 감소하였기 때문에, 충분한 커패시터스를 얻기 위해 유전박막의 두께를 줄이고 복잡한 3차원 구조를 이용하여 유효면적을 증가 시켜왔다. 그러나, 이러한 방법으로는 물리적 한계와 공정의 재현성 문제로 수Gb급 이상의 DRAM에서는 적용하기 어려워진다.

따라서, 이러한 문제를 해결하기위해 유전율이 높은 물질을 유전체로 사용하여, 적은 면적에서도 간단한 구조로 충분한 커패시터스를 얻고자 하는 노력이 진행되고 있다. 이러한 물질로써 BaTiO₃, SrTiO₃ (STO), Ba_{1-x}Sr_xTiO₃ (BST)등과 같은 고유전체 물질을 들 수 있는데, 이중에서도 실용 온도 범위에서 유전율이 높고, 또한 우수한 주파수 특성을 얻을 것으로 기대되는 BST에 관하여 괄목할 만한 연구성과가 얻어지고 있다. BST는 상온에서 입방정 perovskite 구조로 매우 높은 유전율(=300~700)을 가지며, 안정된 조성의 박막을 제조하기가 비교적 용이하고, Ba과 Sr의 조성비로서 전기적 특성을 제어하기도 유리해 차세대 유전박막 재료로 많은 관심이 모아지고 있다.^[1,2]

그러나, BST와 같은 고유전체 물질도 높은 유전율에도 불구하고 ONO 복합층 구조보다 높은 누설전류를 보이고, 박막의 두께가 감소함에 따라 유전율이 급격하게 감소하는 경향을 보이고 있다.^[3] BST 커패시터의 전류-전압 특성은 크게 고전계 영역(0.2MV/cm 이상)과 저전계 영역으로 뚜렷하게 구분되는데, 고전계 영역은 Schokky conduction으로 저전계 영역은 유전완화전류로 알려지고 있다. 기가급 DRAM에 적용시 동작영역이 저전계 영역이므로 이곳에서는 유전완화전류가 Schokky conduction에 비해 매우 높은 전류밀도를 가진다.

유전완화전류는 시간과 관계된 유전완화 특성이 그 원인으로 밝혀진 것으로 BST박막에 전계의 변화가 생

길 때, 즉 Charging/Discharging시에 흐르고, 전류-시간(I-t) 측정시 초기에 흐르는 전류는 거의 유전완화전류이며, 수렴하는 값은 진성 누설전류이다.(그림1) 따라서, refresh time이 수초 내외인 기가급 DRAM에 BST 박막을 응용할 때, 짧은 시간범위에서의 유전완화 전류에 의한 charge의 소모가 현저하게 된다.

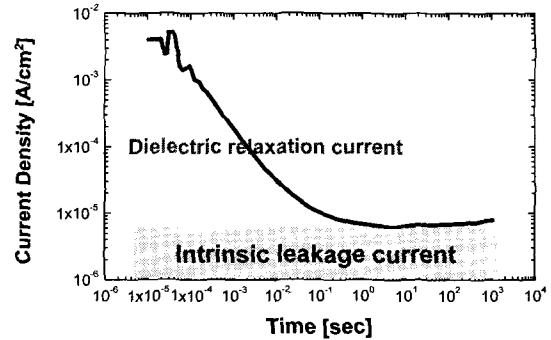


그림 1. Pt/BST/Pt 커패시터의 I-t특성에 의한 유전완화전류 및 진성누설전류

Fig. 1. Dielectric relaxation and intrinsic leakage current in I-t characteristic of Pt/BST/Pt capacitor.

일반적으로 유전완화전류의 원인이 전극과 BST 박막 사이의 interface defect의 영향,^[4] 전극과 BST박막이 이루고 있는 Schottky contact에 의한 박막의 depletion region의 영향,^[5] 최근에는 유전 박막의 계면 공핍영역 (interfacial depletion region)에 위치하는 산소 결핍 (oxygen vacancy)으로부터 de-trap된 전자들이 유전완화 전류의 원인이라는 주장도 나오고 있다.^[6] 특히, 유전완화전류에 있어서는 BST 박막 내에 존재하는 트랩이 현저한 영향을 준다고 알려져 있다.^[7] 그러나, 이러한 실험들의 문제가 유전완화전류의 원인으로 먼저 트랩을 가정함으로써, 전류-전압 측정이나 전류-시간 측정과 같은 간접적인 방법을 통하여 처음의 가정을 확인해 가는 방식이라는 것이다. 또한, 이 방법들은 측정시 전압을 인가해야 하므로 인가 전계의 영향이 유기전류에 나타나게 된다. 이와같이 유전완화 전류의 원인에 대한 규명이 이루어지지 않았으며, 가정된 트랩을 밝히는 실험결과를 명확히 제시하지 못하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 트랩을 측정할 수 있는 직접적인 방법이며, 측정시 전압을 인가하지 않으므로 순수한 트랩에 의한 유기전류만을 측정할 수 있는 TSC 측정법을 BST 박막의 특성 연구에 처음으로 적용하였다.

TSC 측정법은 시편을 서서히 가열할 때 특정 polarization condition에 의해 트랩에 채워져 있던 전자들이 conduction band로 올라갈 때 발생하는 유기 전류의 변화를 측정하여 트랩에 대한 정보를 알아내는 방법으로, metal-insulator-metal (MIM) 구조에서 polymer^[8]나 dielectric material^[9,10]의 트랩을 밝혀내는데 많이 사용되어지고 있다. 본 연구에서는 BST 커패시터의 유전완화전류의 원인으로 알려져 있는 트랩에 대해 TSC 측정법을 이용하여 박막내에서 트랩의 위치 및 원인을 정량적으로 분석하였고, 후속 열처리에 따른 TSC 특성을 알아 보았다.

II. 실험 및 측정

Pt/BST/Pt 구조의 MIM 커패시터를 제작하기 위해서 먼저 SiO₂층을 p-type (100) silicon wafer위에 furnace에서 2000Å 정도 성장시켰다. SiO₂ 층위에 DC magnetron sputtering 방법으로 하부Pt전극을 435에서 800 Å의 두께로 증착하였다. Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃(BST)박막은 4인치 디스크형 target이 장착되어 있는 RF magnetron sputtering 을 이용하여 2000Å을 증착하였고, 이것은 Ba:Sr = 5:5의 조성비, 10 mTorr 공정압력과 510공정 온도에서 이루어졌다. 260 μm의 직경을 갖는 상부Pt 전극은 shadow mask를 이용하여 BST 박막 증착후 상온에서 2000Å을 증착하였다. 전류-전압(I-V) 측정은 HP4145B Semiconductor parameter analyzer를 사용하였고, 전류-시간(I-t)측정은 HP4156A Precision Semiconductor Parameter Analyzer를 사용하였으며, TSC 측정은 Electret Thermal Analyzer를 사용하였다. 전류-시간(I-t) 결과는 식(1)과 같이 Curie-von Schweidler relaxation model로 나타낼 수 있다.^[14]

$$J_{DR}(t) = J_{DR} t^{-n} \quad (1)$$

여기서, J_{DR}은 1sec일때의 전류값, t는 시간, n은 상수(0 < n < 1)를 나타낸다. 식 (1)을 로그-로그 plot하면 기울기가 n이 되는데, 유전완화전류의 영향이 클수록 오랜시간동안 전류가 흐르기 때문에 n값이 적고, 유전완화전류에 의한 전하소모가 적어질수록 기울기(n)가 1에 가까워진다.(그림1) 이와 같이, Curie-von Schweidler relaxation model을 통하여 어느 정도의 유전완화전류의 경향성을 파악해 볼 수 있다. 먼저, BST박막에 대

한 적당한 TSC 결과를 얻기 위한 polarization condition에 대한 실험을 하였고, 여기서 얻은 조건을 이용하여 BST 커패시터의 TSC 특성을 측정하였다. BST 커패시터는 전계크기(E_p) 1.5 × 10⁵V/cm, 시간(tp) 5 min, 온도(T_p) 200°C의 polarization condition을 이용하여 BST 박막내의 트랩들을 전자로 채운 후 시편을 상온에서 승온속도(β) 10 °C/min로 서서히 가열할 때 발생하는 유기 전류의 변화를 온도에 대한 함수로 측정하였다. TSC 측정시, 전자가 detrapped되기 시작할 때 유기되는 전류는 exp(-E_t/kT)에 비례한다. 따라서, 전류가 증가하기 시작하는 부분을 ln(I)에 대해 1/kT로 Arrhenius plot하면 기울기가 트랩의 energy level이 된다.^[11] 이것을 Initial rise method이라 하는데, 이 방법은 하나의 현저한 peak만 존재하거나 여러 개의 peak이 존재하더라도 유기전류가 증가하기 시작하는 부분에서 서로간의 간섭이 없을 경우 적용이 가능하다. 그러나, 여러 peak에 의한 유기전류가 영향을 주는 경우도 적당한 온도 process를 이용하여 peak을 분리하는 peak cleaning technique을 사용하면 initial rise method를 적용할 수 있다.^[12] 따라서, 본 연구에서는 peak cleaning technique을 이용하여 peak 분리를 하였고, initial rise method를 적용하여 트랩의 energy level을 알아 내었다. 그리고, TSC 측정을 통하여 알아낸 트랩의 원인은 Rapid Thermal Annealing (RTA)을 이용하여 산소와 vacuum 분위기에서의 후속 열처리를 통하여 알아 보았다.

또한, BST 박막의 특성을 알아내기 위해 본 연구에서 사용한 TSC 측정과 기준에 사용되던 전류-전압(I-V) 측정, 전류-시간(I-t) 측정을 비교 및 분석함으로써 TSC 측정법의 신뢰성을 살펴 보았다.

III. 결과 및 고찰

그림 2는 TSC 측정시의 개략적인 block diagram을 나타내고, 그림3은 TSC 측정시에 행해지는 process에서의 시간에 대한 온도 변화를 diagram으로 보여주고 있다. 특정 polarization condition에서 BST 박막을 polarization시킨 후, temperature controller에 의해 정해진 온도 상승속도로 온도를 증가시킬 때 유기되는 전류는 전류계에 의해 검출이 되고, 이 전류는 온도에 대한 함수로 X-Y plotter에 의해 기록된다.

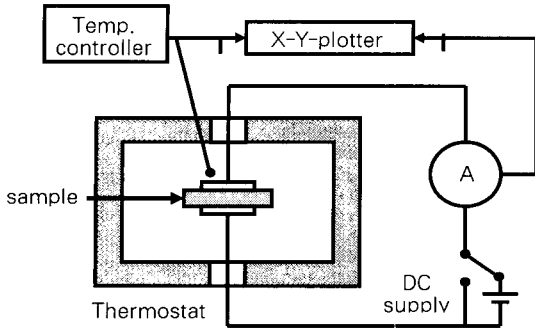


그림 2. TSC 측정 시스템의 개략도
Fig. 2. Block diagram of TSC measurement system.

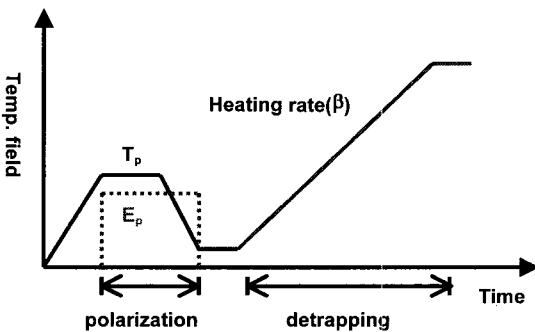


그림 3. TSC 측정을 위한 시간 다이어그램
Fig. 3. Time diagram for TSC measurement.

Polarization시 인가되는 외부 전계에 의한 Schottky conduction에 의해 주입된 전자들이 thermionic effect와 tunnel effect에 의해 트랩을 채우게 된다. Detrapping시에는 전계를 인가하지 않으므로 트랩에 채워진 전하들에 의해서만 전류가 유기된다.

1) BST 커패시터에서의 트랩의 energy level 측정

그림 4(a)는 BST 커패시터의 TSC 측정결과로써 두 개의 peak이 약 160°C와 200°C에 존재함을 보여주고 있고 서로 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 첫번째 peak이 최초로 증가하는 부분에서는 두번째 peak의 영향을 무시할 수 있기 때문에 initial rise method를 적용하여 트랩의 energy level을 계산할 수 있다. 그러나, 두번째 peak의 최초 증가부분이 첫번째 peak에 의해 영향을 받으므로, 먼저 적당한 peak cleaning technique으로 두개의 peak을 분리한 후에 initial rise method를 적용해야 한다.

첫번째 peak이 80°C 근처에서 증가하기 시작하여 160°C에서 최대값을 가지고 약 200°C에서 거의 영(zero)이 되므로, 200°C까지 온도를 가열하게 되면 첫번째 peak에 관여하는 트랩을 채우고 있던 전자들을 모

두 제거할 수 있다. 그림 5와 같은 온도 diagram으로 첫번째 peak을 제거하면 그림 4(b)와 같은 결과를 얻을 수 있다. 이 결과로부터 첫번째와 두번째 peak에 관여하는 트랩은 conduction band에서 각각 약 0.20(±0.01) eV, 0.45(±0.02) eV 정도 아래에 위치함을 알 수 있다.

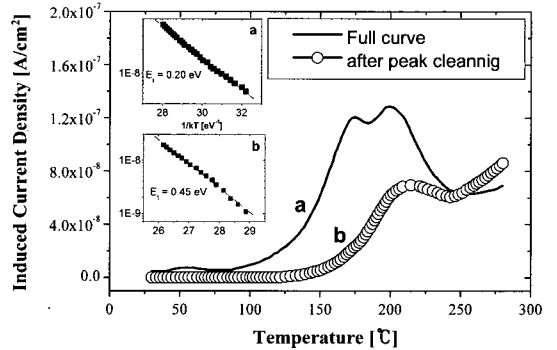


그림 4. BST 커패시터의 TSC 특성
Fig. 4. TSC characteristics of BST capacitor.

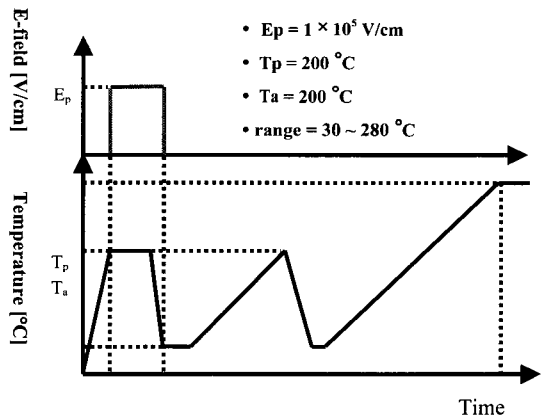


그림 5. Peak cleaning technique을 위한 온도 다이어그램
Fig. 5. Temperature diagram for peak cleaning technique.

TSC 측정시 유기되는 전류를 통하여 박막내에 트랩의 존재와 트랩의 energy level을 확인할 수 있었지만 트랩의 원인은 확인할 수 없었다. 따라서, 본 연구에서는 트랩의 생성원인을 알아보려고 산소와 vacuum 분위기 후속 열처리 전후에 걸쳐 I-V, I-t 측정과 TSC 측정을 실행하여 비교분석하였다.

2) Oxygen 분위기 후속 열처리에 따른 특성변화 비교

BST 커패시터의 산소분위기에서의 열처리는 600°C,

2 min에서 100 mtorr의 압력을 유지하도록 산소를 흘려주는 조건에서 행해졌다. 전류-전압 측정(그림 6)과 전류-시간 측정(그림 7) 측정에서 산소 열처리에 의해 유전완화전류와 누설전류가 현저히 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한, 그림 7의 전류-시간 측정의 Curie-von Schweidler relaxation model에서 n 값이 0.84에서 열처리 후에 0.97으로 증가하였고, 유전완화 전류밀도(J_{DR})는 $1.86 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 에서 $1.75 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$ 로 감소하였다. 산소 열처리 후에 유전완화 전류 밀도가 줄어드는 것을 I-V와 I-t특성을 통해 확인할 수 있었다. 그러나, 이러한 측정들은 측정시 인가되는 전계에 의해 여러가지 전기전도기구들이 나타나게 되므로 유전완화 전류의 원인을 명확하게 확인할 수 없다. 따라서, 인가된 열에 의해 트랩에 의해서만 유기되는 전류를 측정하는 TSC 측정을 열처리 전후에 실시함으로써 I-V 측정 및 I-t 측정에서의 유전완화전류 및 누설전류의 변화가 트랩에 기인하는 것인지를 확인해 보았다.

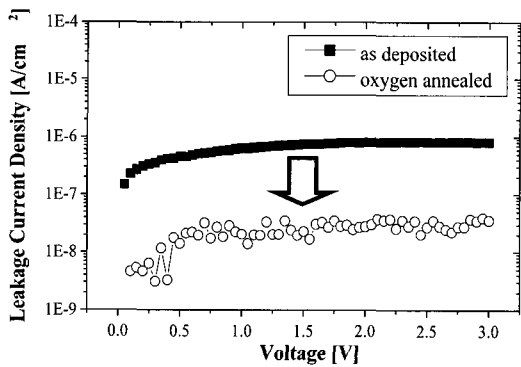


그림 6. 산소열처리 전후의 BST 커패시터의 I-V 특성
Fig. 6. I-V characteristics of BST capacitor before and after oxygen annealing.

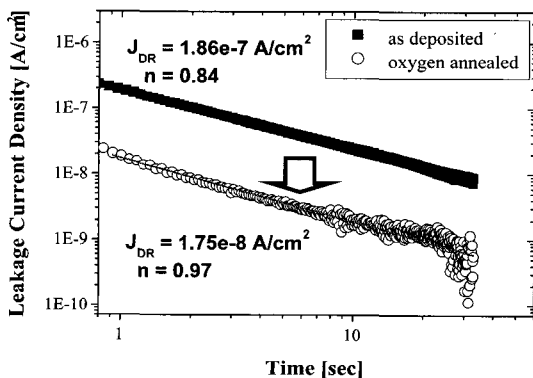


그림 7. 산소열처리 전후의 BST 커패시터의 I-t 특성
Fig. 7. I-t characteristics of BST capacitor before and after oxygen annealing.

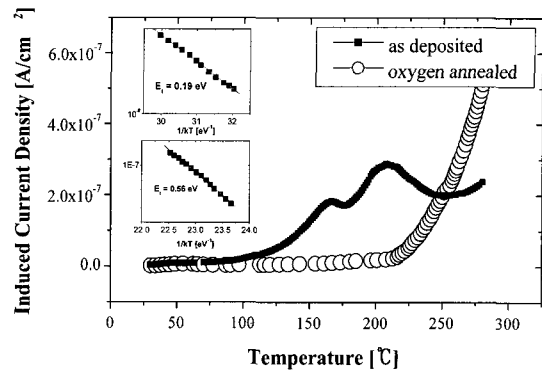


그림 8. 산소열처리 전후의 BST 커패시터의 TSC 특성

Fig. 8. TSC characteristics of BST capacitor before and after oxygen annealing.

그림 8은 산소 열처리 전후의 TSC 측정결과를 보여주는 것이다. TSC 특성에서 열처리 전 두개의 peak이 나타나고, 이 중 첫번째 peak은 약 $0.19(\pm 0.01) \text{ eV}$ 를 갖는 트랩에 의해 생성되며 전류밀도의 최대값은 $2.0 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 이다. 산소 열처리 후에는 $0.20(\pm 0.01) \text{ eV}$ 와 $0.45(\pm 0.02) \text{ eV}$ 로 이루어진 두개의 peak이 사라지고 약 $0.56(\pm 0.03) \text{ eV}$ 의 에너지 level을 갖는 새로운 트랩에 의한 유기전류가 지배적으로 변화하는 경향을 보여주고 있다. 산소 열처리 후 I-t 측정시 유전완화 전류 밀도가 감소하였고, TSC 측정시는 약 $0.20(\pm 0.01) \text{ eV}$ 와 $0.45(\pm 0.02) \text{ eV}$ 를 가지는 트랩이 감소하는 것으로 볼 때 유전완화전류는 트랩에 기인하는 것을 알 수 있다. 또한, 산소 분위기 열처리에서 트랩이 감소하였기 때문에 트랩의 원인이 산소 결핍 (oxygen vacancy)에 의한 것임을 예상할 수 있다. 그러나, 고온의 열처리에 의한 영향을 배제할 수 없으므로 vacuum 분위기 열처리를 통하여 트랩의 변화를 확인해 보았다. 열효과라면 vacuum 분위기에서도 트랩이 감소할 것이고, 산소결핍에 의한 것이라면 오히려 증가할 것으로 예상되기 때문이다.

3) Vacuum 후속 열처리에 따른 특성변화 비교

산소 열처리와 같은 조건에서 산소는 흘려주지 않고 25 mtorr의 진공 압력을 유지하도록 한 상태에서 수행한 vacuum 열처리 후 전류-전압(그림 9)과 전류-시간(그림 10) 측정에서 유전완화와 누설전류가 증가하는 경향을 보이고 있다. 진공 열처리 후, 전류-시간(I-t) 측정에서 n값이 0.88에서 vacuum 열처리 후 0.75로 감

소하였고, 유전완화 전류밀도(JDR)는 1.38×10^{-8} A/cm²에서 3.82×10^{-8} A/cm²로 증가하였다. 또한, TSC 측정(그림 11)에서도 열처리 전의 약 0.21(±0.01) eV를 갖는 트랩에 의해 생성되는 전류밀도의 최대값이 2.5×10^{-7} A/cm²인데 비해, 열처리 후 전류밀도의 최대값이 5×10^{-5} A/cm²로 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다. 이러한 결과에서 유전완화전류의 원인이 BST박막 내의 산소가 열처리 중에 확산에 의해 외부로 빠져나감으로써 발생하는 산소결핍을 명확하게 확인할 수 있었다.

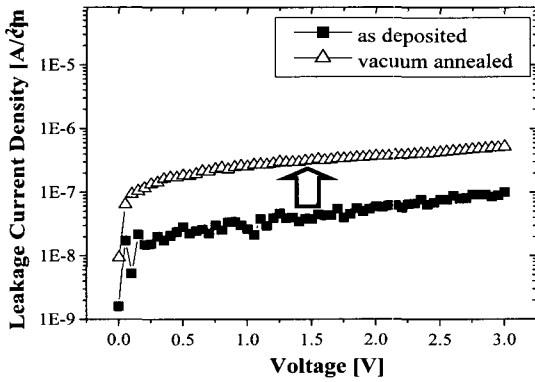


그림 9. Vacuum 열처리 전후의 BST 커패시터의 I-V 특성
 Fig. 9. I-V characteristics of BST capacitor before and after vacuum annealing.

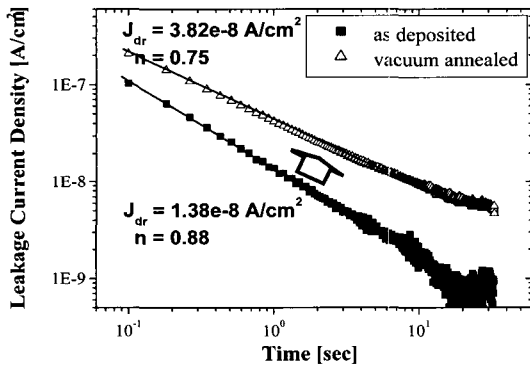


그림 10. Vacuum 열처리 전후의 BST 커패시터의 I-t 특성
 Fig. 10. I-t characteristics of BST capacitor before and after vacuum annealing.

여기서, vacuum 열처리 한 시편을 다시 산소 열처리를 통해 그 변화를 살펴 보았다. 산소 열처리 후 전류-전압(그림 12), 전류-시간(그림 13) 및 TSC 측정(그림

14)에서 vacuum 열처리에 의해 증가했던 유전완화전류와 누설전류밀도가 다시 감소하는 경향을 보여 주고 있다.

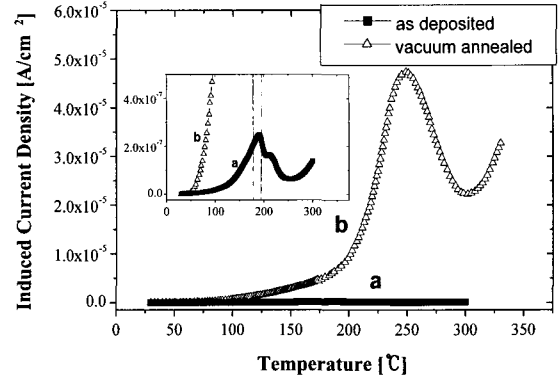


그림 11. Vacuum 열처리 전후의 BST 커패시터의 TSC 특성
 Fig. 11. TSC characteristics of BST capacitor before and after vacuum annealing.

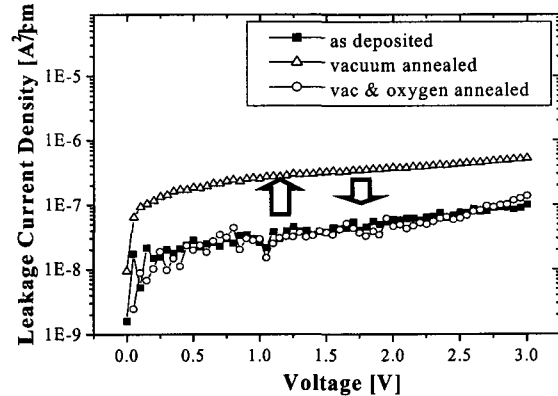


그림 12. Vacuum 열처리 후 산소 열처리시 BST 커패시터의 I-V 특성
 Fig. 12. I-V characteristics of BST capacitor before and after vacuum and sequential oxygen annealing.

요약하면, TSC측정을 통해 0.2(±0.01), 0.45(±0.02), 0.56(±0.03) eV를 갖는 트랩을 확인할 수 있었으며, 이 중 0.20와 0.45 eV의 energy level을 갖는 트랩이 유전완화전류에 기여함을 알 수 있었고, 산소분위기 열처리 및 vacuum 분위기 열처리 전후의 TSC 측정을 통해 이것이 산소결핍에 기인한 것임을 확인할 수 있었다. 이것은 측정온도에 대한 유전완화전류를 측정하여 Arrhenius plot함으로써 얻은 activation energy인 0.2~

0.3 eV와 비슷한 값을 가지며, 또한 인가된 전계에 의한 depletion layer에 의해 얻어진 0.18 eV와 비슷한 값을 가짐을 확인할 수 있다.^[13,14] BaTiO₃나 SrTiO₃ 등의 다결정(polycrystalline) 세라믹에서의 thermodynamic analysis에서 산소결핍(V_O)과 cation vacancy (V_{Ba}, V_{Sr} 이나 V_{Ti})등이 트랩의 주요 원인으로 보고되고 있다.^[15] 따라서, 약 0.2 eV를 갖는 트랩이 산소결핍(V_O)에 의한 것이므로 산소 열처리시 오히려 증가하는 약 0.56(±0.03) eV의 레벨을 가지는 트랩은 BST 박막을 형성하는 원소들인 Barium, Strontium, Titanium등의 cation vacancy들의 복합적 작용에 의해 발생하는 것이라고 추정된다.

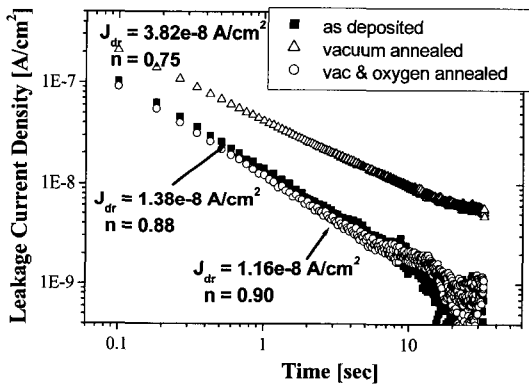


그림 13. Vacuum 열처리 후 산소 열처리시 BST 커패시터의 I-t 특성

Fig. 13. I-t characteristics of BST capacitor before and after vacuum and sequential oxygen annealing.

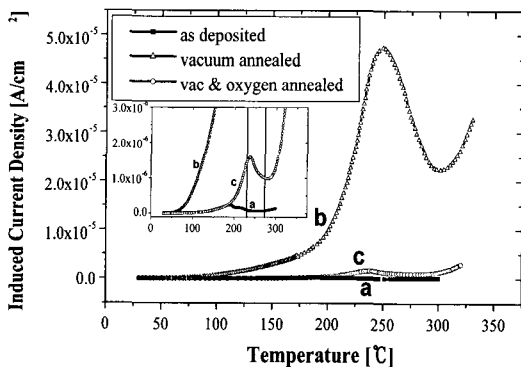


그림 14. Vacuum 열처리 후 산소 열처리시 BST 커패시터의 TSC 특성

Fig. 14. TSC characteristics of BST capacitor before and after vacuum and sequential oxygen annealing.

IV. 결 론

본 연구에서BST 커패시터에서 발생하는 저전계에서의 유전완화전류의 원인을 알아보기 위해 기존에 많이 사용되고 있는 전류-전압(I-V), 전류-시간(I-t) 측정을 채택하였고, 트랩에 대한 정보를 알아보기 위해 새로이 TSC 측정법을 사용하였다.

먼저 TSC 측정을 위한 polarization condition에 대한 실험을 한 결과, BST 박막에서는 polarization시 전계 (E_p)는 1.5×10⁵ V/cm, 시간(t_p)은 5 min, 온도(T_p)는 200°C, 승온속도(β)는 5~10°C/min 로 하는 것이 온도에 대한 함수로 적당한 유기 전류 곡선을 얻을 수 있음을 알았다. 이 조건을 이용하여 BST 커패시터에 대한 TSC 측정을 한 결과 약 0.20(±0.01) eV, 0.45(±0.02) eV, 0.56(±0.03) eV 의 energy level을 갖는 트랩이 존재함을 알 수 있었다. 후속 열처리를 통하여 작은 energy level(0.20 eV, 0.45 eV)을 갖는 트랩은 산소결핍에 의한 것임을 확인할 수 있었고, 0.56 eV의 큰 energy level을 갖는 트랩은 BST를 구성하는 다른 요소들이 열처리시 고온에서 cation vacancy(V_{Ba}, V_{Sr}, V_{Ti})를 생성함으로써 발생하는 것으로 예상되어진다.

본 연구는 TSC 측정이 BST 박막의 트랩의 특성을 연구하는데 매우 유용한 것임을 확인할 수 있었고, TSC 측정법과 전류-전압, 전류-시간 측정을 비교 및 분석함으로써 유전완화전류의 생성원인이 산소결핍에 의한 것임을 명확하게 규명할 수 있었다. 따라서, TSC 측정을 BST 박막의 특성 연구에 응용함으로써 유전완화 및 누설전류에 대한 더욱 정확한 전도모델을 세울 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] P. Bhattacharya, K. H. Park and Y. Nishioka, "Control of Grain Structure of Laser-Deposited (Ba,Sr)TiO₃ Films to Reduce Leakage Current", Jpn. J. Appl. Phys. 33, pp. 5231~5234, 1994.
- [2] Y. P. Wang and T. Y. Tseng, "Electronic defect and trap-related current of (Ba_{0.4}Sr_{0.6})TiO₃ thin films" J. Appl. Phys. 81, p.6762, 1997.
- [3] Y. Fukuda, K. Aoki, K. Numata and A.

- Nishimura, "Current-voltage characteristics of Electron-Resonance sputter-deposited SrTiO₃ thin films", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.33, pp 5255~5258, 1994.
- [4] D. H. Kwak, B. T. Jang, S. Y. Cha and H. C. Lee, "Calculation of Trap Densities between BST/Pt Interface From Capacitance-Voltage Characteristics and Rapid Thermal Annealing Effect for DRAM capacitor Application", The 4th Korean Conference on Semiconductors, pp, 347~349, 1997.
- [5] S. Y. Cha and H. C. Lee, "Platinum Bottom Electrodes Formed by Electron-Beam Evaporation for High Dielectric Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys. 34, pp. 5220~5223, 1995.
- [6] David E. Kotecki, "Integrated Ferroelectrics", 16, pp. 1~19, 1997.
- [7] H. M. Chen, J. M. Lan, J. L. Chen and J. Y. Lee, "Time-dependent and trap-related current conduction mechanism in ferroelectric Pb(ZrxTi1-x)O₃ films", Appl. Phys. Lett. 69, p 1713, 1996.
- [8] M. Meier, S. Karg, K. Zuleeg, W. Brutting and M. Schwoerer, "Determination of trapping parameters in poly(p-phenylenevinylene) light-emitting devices using thermally stimulated currents", J. Appl. Phys. 84, pp. 87~92, 1998.
- [9] Z. Wu and M. Sayer, "Defect structures and fatigue in ferroelectric PZT thin films", ISAF, pp. 244~247, 1992.
- [10] W. L. Warren, G. E. Pike, B. A. Tuttle and D. Dimos, "Polarization-induced trapped charge in ferroelectrics", Appl. Phys. Lett. 70, pp. 2010~2012.
- [11] P. Blood and J.W. Orton, "The Electrical Characterization of Semiconductors : Majority Carriers and Electron States", Academic Press, pp. 466~473, 1992.
- [12] P. Braunlich, "Thermally Stimulated Relaxation in Solids", Springer-Verlag, pp. 161~166, 1979.
- [13] H. Jang, B. T. Jang, S. Y. Cha and H. C. Lee, "Electrical Conduction Mechanism of (Ba,Sr)TiO₃ Thin Film Capacitor in Low Electric Field Region", 대한전자공학회논문지 제 36권 D편 제6호, pp. 522~529, 1999.
- [14] Y. Fukuda, K. Numata, K. Aoki and A. Nishimura, "Origin of Dielectric Relaxation for Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ Thin-Film Capacitor", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, pp. 5178~5180, 1996.
- [15] J. Gerblinger and H.Meixner, "Electrical conductivity of sputtered films of strontium titanate", J.Appl.Phys. Vol. 67 (12), pp. 7453~7459, 1990.

저 자 소 개



金用周(正會員)

1970년 7월 10일생, 1998년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학사, 2000년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사, 2000년 3월~현재 전자전산학과 전기및전자공학전공 박사과정. <주관심 분야 :

BST등의 고유전 박막의 특성평가 및 응용>



車宣龍(正會員) 第36卷 D編 第6號 參照

현재 현대전자 산업주식회사 메모리 연구소 연구원. <주관심분야 : BST 등의 고유전 박막의 특성평가 및 응용, 전극 물질 특성연구>



李熙哲(正會員) 第36卷 D編 第6號 參照

현재 한국과학기술원 전자전산학과 교수. <주관심분야 : HgCdTe 적외선 감지소자, 신호취득회로, BST, PZT 등의 고유전 박막의 특성평가 및 응용>



李基善(正會員)

1938년 11월 1일생, 1964년 서울대학교 물리과대학 이학사, 1979년 인하대학교 이학석사, 1983년 동국대학교 이학박사, 1966 ~ 1978 한국원자력연구소 선임연구원, 1978 ~ 1984 한국동력자원연구소 책임연구원, 현재 충남대학교 물리학과 교수 <주관심분야 : 고체물리학, 반도체 재료 및 기기, 태양광발전>



徐光錫(正會員)

1954년 3월 6일생, 1978년 고려대학교 재료공학과 공학사, 1982년 고려대학교 재료공학과 공학석사, 1987년 미국 코네티컷 주립대학 공학박사, 1982 ~ 1983 한양화학연구소 연구원, 1988 ~ 1989 Senior Research Engineer, 미국 Quantum Chemicals, 현재 고려대학교 재료금속공학부 재료공학과 교수 <주관심분야 : 고분자 전기적 성질, 전도성 고분자를 이용한 전자기파 차폐, 광섬유 센서 기술, 고분자 Compounding 및 가공>