

論文99-36D-4-9

산소 결핍이 고유전 BST 박막에 미치는 영향

(Effects of Oxygen Vacancies on the Electrical Properties of High-Dielectric (Ba,Sr)TiO₃ Thin Films)

金 一 中 * , 李 熙 哲 *

(Il Joong Kim and Hee Chul Lee)

요 약

본 연구에서는 급속 열처리 온도와 분위기를 변화 시키면서 Pt/BST/Pt 커패시터의 전기적 특성 변화를 알아보고, 특성 개선에 대한 체계적인 원인을 분석하였다. 급속 열처리의 온도와 분위기에 따른 Pt/BST/Pt 커패시터의 전기적 특성 변화는 BST 박막 내의 산소 결핍과 관련이 있는 것으로 보인다. 이러한 사실을 확인하기 위하여 450°C, 20mtorr에서 산소와 산소 플라즈마 분위기에서 각각 열처리를 수행한 후 전기적 특성을 비교하였다. 산소 플라즈마에서 열처리를 수행한 BST 커패시터의 누설전류 전류밀도가 단순히 산소 분위기에서 열처리 한 시편과 비교하여 훨씬 낮았다. 또한, 산소 분위기에서 열처리를 수행한 BST 커패시터의 유전율이 약 14%정도 감소한 반면, 산소 플라즈마에서 열처리를 수행한 유전율은 거의 감소가 없었다. 위의 결과는 반응성이 강한 산소 원자를 많이 포함하고 있는 산소 플라즈마가 산소 결핍을 보상하는데 있어서 매우 효과적임을 시사하고 있다. 결과적으로, BST박막 내의 산소 결핍이 BST커패시터의 누설전류 밀도와 유전율에 큰 영향을 미치고 있음을 추정할 수 있다. 그리고, 산소 플라즈마에서 열처리를 수행함으로써 유전율의 감소 없이 누설전류 밀도가 크게 개선된 BST커패시터를 얻을 수 있었다.

Abstract

The electrical properties of rf-magnetron sputtered Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ (BST) capacitors were investigated by varying annealing temperature and atmosphere of the rapid thermal annealing (RTA). The electrical properties of Pt/BST/Pt capacitors were found to strongly depend on the RTA condition. It seems that the dependence of the electrical properties of the Pt/BST/Pt capacitors on the RTA condition is related to the oxygen vacancies in BST thin films. In order to clarify the relation between the oxygen vacancies and the electrical properties of Pt/BST/Pt capacitors, we have examined the two different annealing methods. One annealing method was performed in O₂ gas and the other was done in O₂-plasma at the same condition of 450°C, 20 mtorr. It was found that the leakage current densities of O₂-plasma annealed capacitor were much lower than those of O₂ annealed capacitor. The dielectric constants of O₂ annealed capacitor decreased about 14% comparing with those of as-deposited. In contrast, there was no decrease in the dielectric constant of O₂-plasma annealed. These results indicate that O₂-plasma annealing is very effective in compensation the oxygen vacancies in BST thin films. It can be also concluded that the oxygen vacancies greatly affect the electrical properties of Pt/BST/Pt capacitors.

* 正會員, 韓國科學技術院 電氣 및 電子工學科

(Dept. of Electrical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology)

接受日字:1998年9月8日, 수정완료일:1999年3月18日

I. 서 론

DRAM의 용량이 증가함에 따라 단위 셀 당 면적은 감소하고, 그에 따라 확보 되어야 할 정전 용량은 점

차 커지고 있다. 이에 대한 해결책으로 고유전율을 갖는 물질로 SiO_2 를 대체하는 방법이 있다. 최근 들어, DRAM 커패시터의 유전 재료로 PZT, SrTiO_3 , $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ 와 같은 고유전율을 지닌 유전 박막에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

그 중에서도 $(\text{Ba,Sr})\text{TiO}_3$ (BST)는 유전율이 높고 낮은 누설전류 밀도와 적은 유전 손실을 갖는 장점 때문에 고집적 DRAM 커패시터의 유전체 재료로서 많은 관심을 끌고있다.^[1-4] 고유전 박막의 전극 물질로는 Pt이 산소와 반응하지 않고 BST박막과 높은 전위 장벽(potential barrier height)을 형성하여 낮은 누설전류 밀도를 보이는 장점 때문에 널리 사용되고 있다.^[4-6]

한편, DRAM의 집적도가 기가-비트급으로 증가하면서 유전 박막의 두께가 점차 감소하고, 이에 따라 박막과 전극 사이의 계면 특성 향상 문제가 점차 중요해지고 있다. 이것은 매우 얇은 박막에 있어서 유전체 박막과 Pt전극 사이의 계면 특성이 전체 Pt/BST/Pt 커패시터의 전기적 특성에 미치는 영향이 커지기 때문이다.^[7-8]

따라서, 좋은 Pt/BST/Pt 커패시터를 얻기 위해서는 계면 특성의 향상이 중요하며, 이러한 계면 특성 향상을 위한 열처리 방법으로 급속 열처리가 널리 사용되고 있다.^[9, 10] 일반적으로, 고온에서 열처리를 수행하면 BST 커패시터의 누설전류 밀도는 크게 개선이 되지만, 유전율은 열처리 전(as-deposited) 커패시터와 비교하여 감소하는 경향을 보인다.

한편, 열처리는 산소 결핍(oxygen vacancy)의 농도에 영향을 미치고 있으며, 저 전계 영역에서의 누설전류 밀도가 개선되는 원인이 BST 박막 내의 산소 결핍(oxygen vacancy)과 관련이 있다고 보고되고 있으나, 아직 그다지 구체적인 data를 제시하지 못하고 있다.^[11, 12] 뿐만 아니라, 열처리를 수행한 BST 커패시터의 유전율의 변화 원에 대해서도 아직 보고된 바 없다.

본 논문에서는 열처리 온도와 분위기에 따른 Pt/BST/Pt 커패시터의 전기적 특성 변화를 고찰하고, 전기적 특성 변화의 원인을 체계적으로 분석하였다. 특히, 산소 결핍과 관련하여 누설전류 밀도와 유전율의 변화 원인을 고찰하고, 동일한 조건에서 산소와 산소 플라즈마 분위기에서 각각 열처리를 수행한 후 전기적 특성을 비교하여 이를 확인하였다.

II. 실험 방법

본 연구에서는 BST박막을 증착하기 위하여 P-type 실리콘 웨이퍼를 열 산화하여 SiO_2 를 1500Å 정도 성장시킨 다음, 전극 물질인 Pt을 800Å의 두께로 증착한 Pt/ SiO_2 /Si 기판을 사용하였다. 이때, 하부 전극인 Pt는 400°C에서 전자선 증착기(e-beam evaporator)를 이용하여 증착 하였다. 하부 전극 위의 $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ 박막은 rf-magnetron 스퍼터링법에 의해 4 mtorr의 공정 압력과 600°C의 기판 온도, $\text{Ar}/\text{O}_2=5/5$ 의 공정 분위기에서 형성하였다. MIM 커패시터를 형성하기 위한 Pt 상부 전극은 단면적이 $4.5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ ($\phi=240 \mu\text{m}$)인 새도우 마스크를 이용하여 전자선 증착기(e-beam evaporator)를 이용하여 상온에서 900Å을 증착하여 형성하였다. 그리고, 제작된 커패시터를 대기압, 산소 분위기에서 60초 동안 400°C, 500°C, 600°C, 700°C에서 각각 열처리를 수행하였다. 이때, 산소 유량은 500sccm으로 고정하였다.

급속 열처리 분위기에 따른 Pt/BST/Pt커패시터의 전기적 특성 변화를 조사하기 위하여 열처리 온도와 시간을 각각 450°C와 60초로 고정하고, 산소유량을 700sccm, 150sccm, 0sccm으로 변화 시키며 열처리를 수행하였다. 이때, 질소 유량은 0sccm, 550sccm, 700sccm으로 각각 증가 시켰다.

산소 결핍이 BST 커패시터의 전기적 특성에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 산소와 산소 플라즈마 분위기에서 각각 열처리를 수행한 후 전기적 특성을 비교하였다. 산소 분위기에서의 열처리는 20 mtorr압력에서 O_2 를 충분히 주입하면서 450°C에서 20분 동안 수행하였다. 그리고, 산소 플라즈마 분위기에서의 열처리도 위와 같은 조건에서 수행하였다. Pt/BST/Pt 커패시터의 전기적 특성은 HP4275A multi-frequency LCR meter를 이용하여 정전 용량을 측정하였고, 누설전류 밀도는 HP4145B semiconductor parameter analyzer를 이용하여 측정하였다.

III. 급속 열처리(Rapid Thermal Annealing, RTA)온도와 분위기에 따른 변화

열처리에 의한 BST커패시터의 전기적 특성 변화의 원인을 체계적으로 조사 하기 위하여, 열처리의 온도

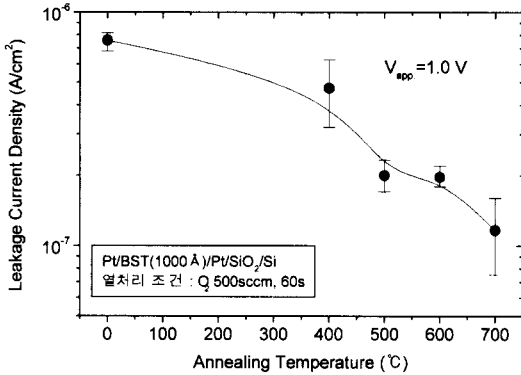


그림 1. 산소 분위기에서의 RTA 온도에 따른 Pt/BST/Pt 커패시터의 누설전류 밀도

Fig. 1. Leakage current densities of the Pt/BST/Pt capacitors vs. RTA temperatures.

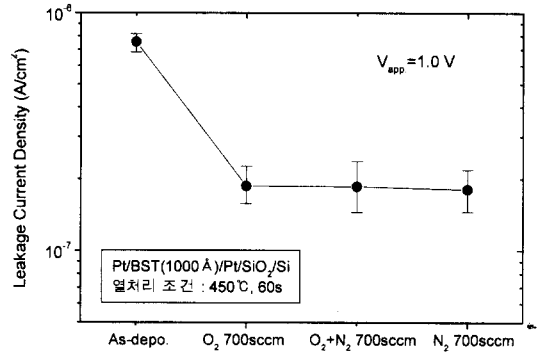


그림 3. 급속 열처리 분위기에 따른 Pt/BST/Pt 커패시터의 누설전류 밀도의 변화

Fig. 3. Leakage current density of Pt/BST/Pt capacitors vs. RTA temperatures.

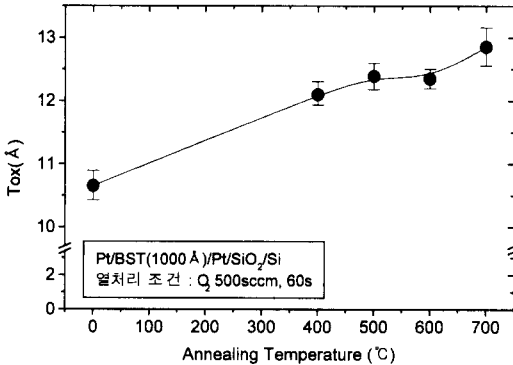


그림 2. RTA 온도에 따른 Pt/BST/Pt 커패시터의 T_{OX} 변화

Fig. 2. Effective SiO₂ thickness(T_{OX}) of Pt/BST/Pt capacitors vs. RTA temperatures.

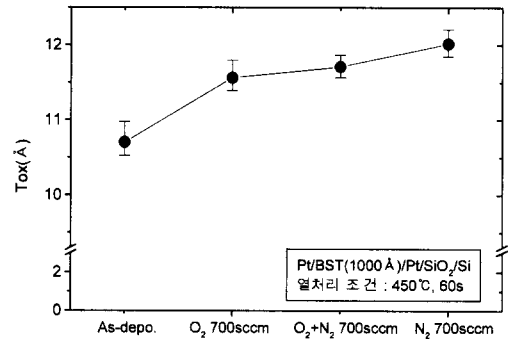


그림 4. 급속 열처리 분위기에 따른 Pt/BST/Pt 커패시터의 T_{OX} 변화

Fig. 4. Effective SiO₂ thickness(T_{OX}) of Pt/BST/Pt capacitors vs. RTA atmospheres.

의 분위기를 변화 시키면서 누설전류 밀도와 유전율의 변화를 조사 하였다.

먼저, 대기압에서 500sccm의 산소를 주입하면서 RTA(Rapid Thermal Annealing) 온도를 각각 400°C, 500°C, 600°C, 700°C로 변화 시키면서 BST 커패시터의 누설전류밀도와 유전율의 변화를 알아 보았다. 그림 1은 BST커패시터에 1V의 전압을 인가하였을 때, RTA온도에 따른 누설전류 밀도의 변화를 보여준다.

그림1에서 알 수 있는 바와 같이, RTA온도가 증가할수록 누설전류 밀도가 열처리 전(as-deposited) 커패시터에 비하여 크게 감소하고 있다. 상부 전극에 1V의 전압을 인가 하였을 때, 열처리 전 BST커패시터의 누설전류 밀도는 $7.5 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 이었고, 600°C

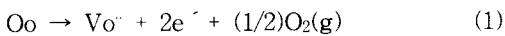
에서 열처리한 BST커패시터의 누설전류 밀도는 $1.96 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 이었다.

그림2는 RTA온도에 따른 BST커패시터의 유전율 변화를 보여준다. 열처리 전 BST커패시터의 유전율은 SiO₂로 환산한 두께인 T_{OX}로 환산하면 10.7Å이었다. 열처리를 수행한 BST 커패시터의 유전율은 열처리 전 BST 커패시터의 유전율의 약 87%이었고, T_{OX}로 표시하면 12.3Å이었다. 결과적으로, 유전율은 RTA온도가 증가할 수록 점차 감소하는 경향을 보임을 알 수 있다.

그림3에서 알 수 있듯이, 분위기를 변화 시키면서 급속 열처리를 수행 하였을 때 누설전류 밀도는 분위기에 따른 큰 차이는 없었으며, 열처리를 수행한 BST 커패시터의 누설전류밀도가 열처리 전의 시편과 비교

하여 약25%로 감소하였다. 이러한 결과로부터, 누설전류밀도 특성은 급속 열처리 분위기보다는 급속 열처리 온도에 더 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그림4는 급속 열처리 분위기에 따른 유전율의 변화를 보여준다. 그림4에서 알 수 있듯이, 유전율은 열처리 전보다 열처리 후에 감소하며, 산소 분위기에서 질소 분위기로 바뀔 때 따라 점차 증가하는 경향을 보인다.

앞에서 살펴본 바와 같이, 누설전류 밀도 및 유전율의 변화는 열처리 온도에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 누설전류 밀도가 감소하는 원인으로 BST/Pt 간 계면에서의 결함(defects)의 감소, 트랩 밀도의 감소를 들 수 있다.^[13] BST/Pt 간 계면에서의 트랩된 전자 밀도는 C-V곡선으로부터 구할 수 있다.^[14] C-V곡선으로부터 구한 계면에서의 트랩된 전자 밀도는 열처리 분위기와는 상관없이 열처리 전과 비교하여 열처리 후에 크게 감소하였다. 또한, 열처리는 BST박막 내의 산소 결핍(oxygen vacancy)이 영향을 주는 것으로 보고되고 있다.^[16] 산소 결핍과 관련하여 고찰하면, 산소 또는 질소 분위기에서 열처리를 수행하는 동안 산소 분자들이 BST박막으로 확산하면서 산소 결핍을 보충한다. 그러나, 산소 분자들의 반응성이 매우 약하고 열처리 시간이 매우 짧기 때문에 산소 분자들이 확산하면서 산소 결핍을 채우는 것은 매우 효과적이지 못한 것으로 보고 되고 있다.^[15]



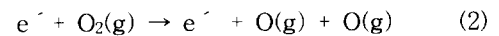
여기서, O_o , V_o^- , $2e^-$ 는 각각 정상 위치에 존재하고 있는 산소 이온, 생성된 산소 결핍(oxygen vacancy), 생성된 전자를 나타낸다

그림2에서 알 수 있는 바와 같이, 유전율이 열처리 온도가 증가할수록 감소하는 원인은 온도가 증가할수록 식 (1)의 반응이 증가하고 이로 인해 산소 결핍(oxygen vacancy) 농도가 점차 증가하여 BST의 조성비(stoichiometry)에서 미소하게 벗어나서 박막의 결정성을 떨어뜨리기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 산소 분위기에서 질소 분위기로 바뀔 때 따라 유전율이 조금씩 감소 하는 원인은 주위의 산소 분압이 점차 감소하여 BST박막 내의 산소가 더 쉽게 빠져 나가서 식 (1)의 반응이 증가하기 때문인 것으로 생각된다. 한편, 식 (1)에서 알 수 있는 바와 같이, 산소 결핍은 전자 도너(electron donor) 역할^[16, 17]을 하며, 이렇게 생성된 전자는 박막 내에서 전도 역할을 하여 누설

전류밀도를 증가 시키는 원인으로 작용하게 된다. 그러나, 누설전류밀도는 열 효과에 의한 Pt/BST계면 특성 향상 효과^[13]와 식 (1)과 같은 반응으로 생성된 전자와의 영향을 고려 할 때, 열 효과에 의한 영향을 더 크게 받고 있는 것으로 보인다. 그 이유는 그림1, 3에서 알 수 있는 바와 같이, 열처리 분위기에 따른 누설전류 밀도의 변화보다는 열처리 온도에 따른 변화가 훨씬 더 크기 때문이다.

IV. 산소 플라즈마 열처리에 의한 커패시터의 전기적 특성

지금까지의 실험결과를 통하여 알 수 있듯이, 고유전율을 유지하고 또한 누설전류 밀도를 더 크게 개선하기 위해서는 산소 결핍(oxygen vacancy)이 충분히 보충되어야 한다고 생각된다. 이를 확인하기 위하여, Pt/BST/Pt 커패시터 제작 후 DC 스퍼터 장비에서 450°C, 20 mtorr압력에서 산소(O_2)를 충분히 주입하면서 20분 동안 열처리를 하였고, 다른 시편은 새로운 열처리 방법인 산소 플라즈마(O_2 plasma) 열처리를 수행하여 누설전류 밀도와 유전율을 비교하였다. O_2 열처리는 O_2 가 반응성이 약해 산소 결핍(oxygen vacancy)을 보충한다고 보기는 어렵다고 생각된다. 반면, 산소 플라즈마에서는 식 (2)와 같은 반응으로 전자와의 충돌에 의하여 산소 분자들이 분리(dissociation)되어 반응성이 매우 강한 산소 원자들이 많이 존재하고 있다.^[18]



이러한 원자들이 식 (3)과 같은 반응을 통해 충분한 열을 공급한 상태에서 BST박막 내에 존재하는 산소 결핍을 보충한다.

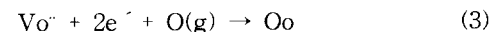


그림5는 산소와 산소 플라즈마를 이용하여 열처리를 수행한 BST커패시터의 누설전류 밀도를 보여준다. 그림 5에서 알 수 있듯이, 열처리를 수행하기 전의 BST커패시터의 누설전류 밀도와 비교할 때, 산소(O_2) 분위기에서 열처리를 수행한 Pt/BST/Pt커패시터의 누설전류 밀도는 $7.9 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 에서 $5.1 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$ 으로 약 35% 감소한 반면, 산소 플라즈마를 이용하여 열처리를 수행한 BST커패시터의 누설전류 밀

도는 2.5×10^{-7} A/cm²로 약 70% 감소하였다. 산소(O₂) 열처리를 수행하였을 때, 열 효과에 의한 BST/Pt계면 사이의 트랩 밀도가 감소한다. 또한, 열처리 주위의 산소 분압이 매우 낮고 반응성이 강한 산소 원자들이 부족하기 때문에 산소 결핍이 생성되고 전자농도가 증가 한다. 앞에서 살펴본 바와 같이, 이러한 두 가지 효과가 서로 상반된 영향을 미치며, 열 효과가 지배적으로 작용하여 결과적으로 누설전류가 감소한다. 반면에, 산소 플라즈마에서 열처리를 수행하면, 열 효과에 의한 누설전류 밀도의 감소 효과 뿐만 아니라, 반응성이 강한 산소 원자가 산소 결핍을 보상함으로써 나타나는 캐리어 역할을 하는 전자 농도의 감소 등으로 누설전류 밀도가 산소(O₂) 분위기에서 열처리를 수행하였을 때와 비교하여 훨씬 더 크게 감소함을 추정할 수 있다.

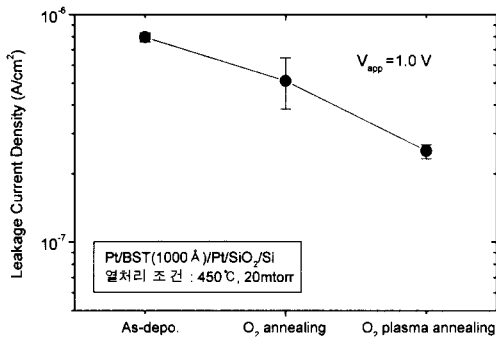


그림 5. 산소 열처리와 산소 플라즈마 열처리 후의 누설전류 밀도 변화

Fig. 5. The leakage current densities of the Pt/BST/Pt capacitors after O₂ and O₂-plasma annealing.

그림 6은 산소(O₂) 분위기 및 산소 플라즈마에서 열처리를 수행하였을 때, BST커패시터의 유전율의 변화를 보여준다. 산소 분위기에서 열처리 수행하였을 때, 열처리를 수행하기 전과 비교하여 유효 산화막 두께가 T_{OX}=12.8Å에서 T_{OX}=14.8Å로 약14% 증가하였다. 앞에서의 실험 결과에서 살펴본 바와 같이, 유전율의 감소 원인으로 주위에 많이 존재하는 산소(O₂)가 산소 결핍을 충분히 보상해 주지 못한 채 박막 내에 존재하는 산소가 BST박막을 계속 빠져나가면서 산소 결핍을 생성하고, 이렇게 생성된 산소 결핍이 BST박막의 결정성을 떨어뜨리기 때문인 것으로 보인다. 한편, 산소 플라즈마에서 열처리를 수행한 결과, 유전율은 유효 산화막 두께 T_{OX}=12.9Å로 감소가 거의 없

었다. 이것은 생성된 산소 결핍을 주위에 존재하는 반응성이 강한 산소 원자가 그림 7과 같이 박막 내로 확산하면서 산소 결핍을 충분히 보상해주기 때문이다. 위의 결과로부터, 산소 플라즈마 열처리하는 산소(O₂) 분위기에서의 열처리와 비교할 때, 산소 결핍을 보상함으로써 유전율의 감소를 억제하고, 열 효과에 의한 Pt/BST계면 특성의 향상과 박막 내의 전자의 농도 감소로 누설전류 밀도를 더 크게 감소시킬 수 있다.

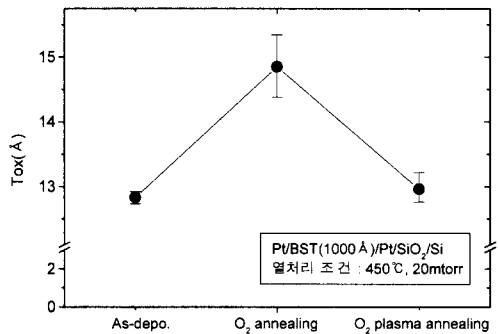


그림 6. 산소 분위기 및 산소 플라즈마에서의 열처리 후 T_{OX} 변화

Fig. 6. T_{OX} of the Pt/BST/Pt capacitors after O₂ and O₂-plasma annealing treatment.

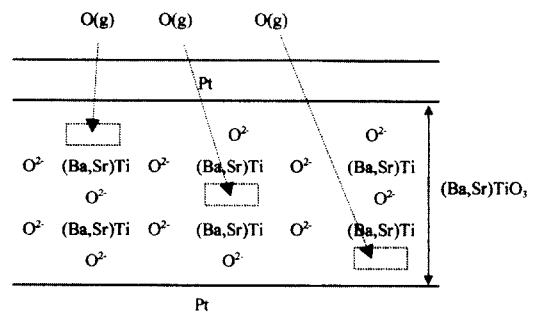
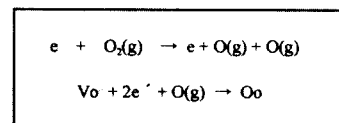


그림 7. 산소 플라즈마 열처리를 이용한 유전율을 거의 감소시키지 않고 누설전류 밀도를 개선시키는 메커니즘에 대한 모델

Fig. 7. Illustration of a model of the mechanism for reducing the leakage current density without the decrease of the dielectric constant of the BST thin films with O₂-plasma annealing treatment.

또한, 기존의 관련 보고 자료에서는 산소 열처리에 의한 BST 박막의 전기적 특성 개선이 산소 결핍의 감소로 생각한 반면^[11, 12], 본 실험에서는 산소 열처리가 산소 결핍의 보상 보다는 열 효과의 영향이 큼을 확인하였다. 따라서, 산소 결핍의 보상을 위해서는 반응성이 강한 산소 플라즈마를 도입한 열처리 방법이 보다 효과적임을 실험적으로 확인하였다.

V. 결 론

본 연구에서는 금속 열처리의 온도와 분위기를 변화시키면서 금속 열처리의 체계적인 분석을 시도하였다. 위의 분석 결과, 산소 결핍(oxygen vacancy)이 Pt/BST/Pt커패시터의 누설전류 밀도와 유전율에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이를 확인하고 전기적 특성을 개선시키기 위해 기존의 열처리 방법과는 달리 새로운 열처리 방법으로서, 산소 플라즈마를 이용하였다. 그 결과, 기존의 열처리 법은 누설전류밀도의 개선과 함께 유전율의 감소가 있었으나, 산소 플라즈마를 이용하여 열처리를 수행한 결과 유전율은 거의 감소하지 않은 채 누설전류 밀도를 크게 개선할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] T. Horikawa, N. Mikami, M. Tetsuro, J. Tanimura, M. Kataoka, K. Sato and M. Nunoshita, "Dielectric Properties of (Ba,Sr)TiO₃ Thin Films Deposited by RF Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, pp. 4126-4130, 1993.
- [2] N. Ichinose and T. Ogiwara, "Preparation and Properties of (Ba, Sr)TiO₃ Thin Films by RF Magnetron Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, pp. 4115-4117, 1993.
- [3] B-T. Jang, D-H. Kwak, S. Y. Cha, S. H. Lee and H. C. Lee, "A Simple Method for High-Frequency Characterization of (Ba,Sr)TiO₃ Thin Film Capacitors", Integrated Ferroelectrics, Vol. 20, pp. 215-224, 1998.
- [4] S. Y. Cha, H. C. Lee, W. J. Lee and H. G. Kim, "Platinum Bottom Electrodes Formed by Electron-Beam Evaporation for High-Dielectric Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 34, pp. 5220-5223, 1995.
- [5] G. A. C. M. Spierings, et al., "Influence of Platinum-based Electrode on the Microstructure of Sol-gel and MOS Prepared Lead Zirconate Titanate Films", Integrated Ferroelectrics, Vol. 3, pp. 283-292, 1993.
- [6] Kazuhide Abe, "PZT Thin Film Preparation on Pt-Ti Electrode by RF Sputtering", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 30, pp. 2151-2154, 1991.
- [7] K. Amanuma, T. Mori, T. Hase, T. Sakuma, A. Ochi and Y. Miyasaka, "Ferroelectric Properties of Sol-Gel Derived Pb(Zr,Ti)O₃ Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32, pp. 4150-4153, 1993.
- [8] N. Ichinose and T. Ogiwara, "Preparation and Rapid Thermal Annealing Effect of (Ba,Sr)TiO₃ Thin Films", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 34, pp. 5198, 1993.
- [9] T. O. Sedgwick, Processings of the Symposium of Reduecd Temperature Processing for VLSI, Eds, D. R. Srinivasan and R. Reif, 86-5 (The Electrochemical Society, Princeton, NJ), pp. 49, 1987.
- [10] L. Shi, S. B. Krupanidhi and G. H. Haertling, "Development of Ferroelectric Pb(ZrxTi1-x)O₃ Thin Films by Metallo-Organic Decomposition Process and Rapid Thermal Annealing", Integrated Ferroelectrics, Vol. 1, pp. 111-127, 1992.
- [11] Y. Fukuda, K. Numata, K. Aoki and A. Nishimura, "Origin of Dielectric Relaxation Observed for Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO₃ Thin-Film Capacitor", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 35, pp. 5178-5180, 1996.
- [12] C. S. Hwang, S. O. Park, H. J. Cho, C. S. Kang, H. K. Kang, S. I. Lee and M. Y. Lee, "Deposition of Extremely Thin (Ba,Sr)TiO₃ Thin Films for Ultra-large-scale Integrated Dynamic Random Access Memory Application", Appl. Phys. Lett., Vol. 19, pp. 2819-2821, 1995.

- [13] D-H. Kwak, B-T. Jang, S. Y. Cha, J. S. Lee, H. C. Lee, "Effect of Rapid Thermal Annealing on the Interface Trap Density Between Pt and (Ba,Sr)/TiO₃ Thin Film", Integrated Ferroelectrics, Vol. 17, pp. 179-186, 1997.
- [14] D-H. Kwak, B-T. Jang, S. Y. Cha, S. H. Lee, H. C. Lee and B. G. Yu, "Hysteresis Analysis in Capacitance Voltage Characteristics of Pt/(Ba,Sr)TiO₃/Pt Structures", Integrated Ferroelectrics, Vol. 13, pp. 121-127, 1996.
- [15] T. Shiosaki, et al., "強誘電體 薄膜 集積化 技術", Science Forum, pp. 63-66, 1992.
- [16] D. M. Smyth, M. P. Harmer and P. Peng, "Defect Chemistry of Relaxor Ferroelectrics and the Implications for Dielectric Degradation", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 72, pp. 2276, 1989.
- [17] R. Waser, "dc Electrical Degradation of Perovskite-Type Titanates: I, Ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, pp. 1645-1653, 1990.
- [18] B. Champman, "Glow Discharge Processes", John Wiley and Sons, pp. 298, 1980.

— 저 자 소 개 —



金 一 中(正會員)

1968년 11월 2일생. 1996년 한양대학교 전자공학과 졸업(학사). 1998년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

李 熙 哲(正會員) 第 31卷 A編 第 10編 參照

1954년 9월 8일생. 1978년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사). 1986년 동경공업대학 전자공학과 졸업(석사). 1989년 동경공업대학 전자공학과 박사학위 취득. 현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 부교수