

RF 마그네트론 스퍼터링법에 의한 MFM 구조의 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ 박막 특성에 관한 연구

이후용 · 최훈상 · 최인훈

고려대학교 재료공학과
(1999년 11월 26일 접수)

A study on the characteristics of MFM structure of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ thin films by RF magnetron sputtering

Hu-Yong Lee, Hoon-sang Choi and In-Hoon Choi

Department of Materials Science, Korea University
(Received November 26, 1999)

요 약 - RF magnetron sputtering법으로 $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT)박막을 상온에서 p-type Si(100) 기판위에 증착하여 DRO 강유전체 메모리(destructive read out ferroelectric random access memory)에 사용되는 강유전체막으로 Pt/SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si (MFM)구조의 응용가능성을 확인하였다. 구조적인 특징들이 열처리 시간의 변화와 Ar/O₂의 가스 유량비의 변화에 따라서 XRD(x-ray diffractometer)에 의해 관찰되었으며 표면 특성은 FE-SEM(field emission scanning electron microscopy)에 의해서 관찰하고 박막의 전기적 특성들은 P-V (polarization-voltage measurement)와 I-V(current-voltage measurement)를 사용하여 관찰하였다. 스퍼터링 증착시 Ar/O₂의 가스 유량비는 1:4에서 4:1까지 변화 시켰고 SBT박막은 상온에서 증착시켰다. XRD 측정시 박막들은 SBT의 (105), (110) peak들을 나타내었다. 상온에서 증착시킨 박막은 1시간, 2시간 동안 산소 분위기에서 800°C열처리를 하여 결정화 시켰다. SBT 박막의 P-V곡선은 이력 곡선의 모양을 갖추었으며 비대칭적인 강유전체 특성을 나타내었다. Ar/O₂ 가스유량비가 1:1, 2:1인 경우에 박막의 누설 전류밀도 값이 제일 좋았으며, 그 값은 3 V, 5 V, 7 V에서 각각 3.11×10^{-8} A/cm², 5×10^{-8} A/cm², 7×10^{-8} A/cm²이었다. 열처리 시간을 2시간으로 증가시킨 후, 그들의 전기적 특성과 결정화특성이 개선됨을 확인하였다. AES분석 및 EPMA분석으로 SBT박막의 깊이 분포 및 조성을 확인하였다.

Abstract - $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT) films were deposited on p-type Si(100) at room temperature by rf magnetron sputtering method to confirm the possibility of application of Pt/SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si structure (MFM) for destructive read out ferroelectric RAM (random access memory). Their structural characteristics with the various annealing times and Ar/O₂ gas flow ratios in sputtering were observed by XRD (X-ray diffractometer) and the surface morphologies were observed by FE-SEM (field emission scanning electron microscopy), and their electrical properties were observed by P-V (polarization-voltage measurement) and I-V (current-voltage measurement). The Ar/O₂ gas flow ratios of sputtering gas were changed from 1:4 to 4:1 and SBT thin films were deposited at room temperature. The films show (105), (110) peaks of SBT by XRD measurement. SBT thin films deposited at room temperature were crystallized by furnace annealing at 800°C in oxygen atmosphere during either one hour or two hours. Among their electrical properties, P-V curves showed shaped hysteresis curves, but the SBT thin films showed the asymmetric ferroelectric properties in P-V curves. When Ar/O₂ gas flow ratios are 1:1, 2:1, the leakage current density values of SBT thin films are good, those values of 3 V, 5 V, and 7 V are respectively 3.11×10^{-8} A/cm², 5×10^{-8} A/cm², 7×10^{-8} A/cm². After two hours of annealing time, their electrical properties and crystallization are improved.

1. 서 론

최근 강유전체(ferroelectric)의 다양한 응용성 때문에 강유전체 물질을 박막화하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이것은 현재 DRAM이 고집적화가 가능하고 동작 속도가 빠르며 기록가능(read/write) 횟수에 거의 제약이 없는 등 여러 가지 장점으로 많이 사용되나 데이터의 휘발과 데이터를 갱신(refresh)하기 위해 일정시간 간격으로 전압을 인가하여 주어야 하므로 전력소비가 크다는 문제점을 나타내고 있기 때문이다. 메모리 소자용 고유전율 물질로 tantalum-penta-oxide (Ta₂O₅), strontium titanate (ST), barium strontium titanate (BST), lead zirconate titanate (PZT), lanthanum-doped PZT (PLZT)등이 활발하게 연구되고 있다. 이러한 재료들 중 강유전체 메모리용 캐패시터로는 강유전체인 PZT(lead zirconate titanate)가 높은 잔류분극, radiation hardness, 높은 큐리온도, 저온 성장(550°C)으로 가장 각광 받는 물질이었고 또한 많은 연구가 수행되었다. 그러나 PZT는 Pt전극하에서 10⁷⁻⁸회 cycle전후에서 심각한 피로현상(fatigue property)이 일어나 강유전체 메모리의 피로 특성 요구 조건인 10¹²회 cycle이상을 만족 시키지 못한다 [1, 2]. 이를 개선하기 위해 RuO₂, IrO₂와 같은 산화물 전극을 사용하여 피로현상을 개선시키려는 노력이 행하여 졌으나 이들 산화물 전극은 집적화의 복잡성을 증가 시킨다. 이에 대한 대안으로 Bi-layered perovskite인 SBT(SrBi₂Ta₂O₉)로 이러한 피로현상을 해결하려는 연구가 시도되었다. SBT는 구조상 분극반전이 발생하는 층과 원층층 역할을 하는 Bi 산화물 층이 반복적으로 존재함으로써 피로특성이 우수하다고 알려져 있으며 [3] 낮은 직류 누설전류(direct leakage current), PZT에 비해 잔류분극(remanent polarization) 값이 1/3 정도밖에 되지 않고 유전율(ϵ_r)도 200-300정도로 작지만 항전계(coercive field, E_c) 값이 PZT보다 작아 작동전압이 낮고 900 Å-5000 Å 사이에서는 막두께에 대한 Pr값의 의존도가 거의 없어 고집적화에 아주 유리한 특성을 가지고 있다 [3]. 본 연구에서는 스퍼터링 방법(sputtering method)을 사용하여 SBT 박막을 증착하였다. 또한 스퍼터 증착시에 Ar/O₂의 유량변화에 따른 SBT박막의 구조 변화와 전기적 성질의 변화를 관찰하였다. 열처리 시간의 변화에 따른 박막의 결정화 및 구조적 변화를 관찰하기 위하여 X선 회절법(XRD) 및 주사전자 현미경(SEM)을 이용하였다. 이력

곡선 측정(P-V measurement) 및 누설전류 특성(I-V measurement)을 측정하였으며 증착된 SBT의 조성 및 깊이분포를 EPMA와 AES를 통해 확인하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 rf magnetron sputtering 장비를 사용하였고, 일본 고순도사에서 주문 제작한 2-inch 직경, 1/4인치 두께의 SrBi₂Ta₂O₉ (3N)을 타겟으로 사용하였다. SBT 타겟은 Bi의 휘발성을 고려하여 Bi가 5% 과량으로 들어간 타겟을 주문하였다. 결정 구조 분석, 조성 분석 및 전기적 성질 측정을 위하여 Pt(1200 Å)/Ti(400 Å)/SiO₂/Si 기판을 사용하였다. 기본 진공도는 5×10⁻⁶ Torr로 하였으며 증착 압력은 2×10⁻³ Torr로 맞춘 후 박막의 균질성을 위해 기판을 일정 속도로 회전시켜주었다. 또한 SBT박막의 Ar/O₂의 유량비에 따른 특성 변화를 살펴 보기위해 가스비를 1/4, 1/2, 1/1, 2/1, 4/1로 변화 시켜 증착 시켰다. 열처리 시간 변화에 의한 SBT 박막의 결정구조 변화 및 전기적 성질변화를 측정하기 위하여 800°C에서 각각 1시간, 2시간 열처리를 산소분위기에서 실시하였다. 전기적 성질의 측정을 위한 상부 전극으로는 지름이 200 μm인 dot형태의 mask를 사용하여 Pt전극을 증착하였다. 전극 열처리는, 박막 열처리 후 전극을 올린 다음 800°C, 산소분위기에서 30분간 다시 로열처리를 하였다. 전극의 증착에는 evaporator를 사용하여 증착하였으며 이력 특성 측정을 위해 RT 66A(Radiant technology, Inc)를 사용하였으며 누설 전류 측정을 위해 HP 4140B pA meter/DC voltage source를 사용하였다. 열처리 조건에 따른 박막의 결정구조 및 결정성 분석과 중간상 형성 및 상변화를 조사하기 위하여 Rigaku, Model No. D/Max-2A XRD로 2θ = 20°~60°의 범위에서 측정하였다(Cu Kα, 30 KV, 15 mV). 깊이에 따른 조성 분포를 관찰하여 중간상의 형성과 상호 확산 정도를 조사하기 위해 AES측정을 하였다. 표면 및 단면을 관찰하기 위하여 HITACHI사의 S-4100 field emission scanning electron microscope(FE-SEM)을 이용하였다.

2. 결과 및 분석

3.1. Ar/O₂비와 열처리시간 변화에 따른 SBT 구조의 분석

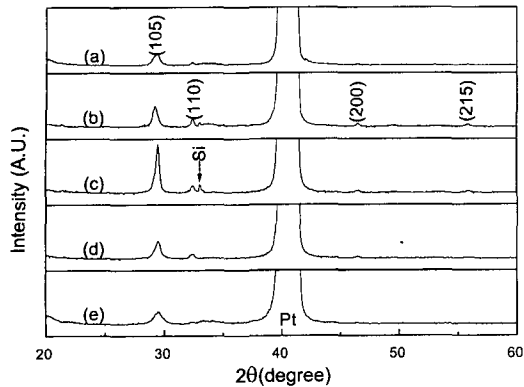


그림 1. XRD patterns of SBT thin films annealed at 800°C in oxygen ambient during 1 hour with (a) Ar/O₂ = 4:1, (b) Ar/O₂ = 2:1, (c) Ar/O₂ = 1:1, (d) Ar/O₂ = 1:2, and (e) Ar/O₂ = 1:4.

스퍼터를 사용하여 박막을 증착하는데 있어서 중요한 공정 변수로는 증착시의 압력, 증착시의 온도, 인가되는 RF파워의 크기, 주입되는 가스들 유량비등을 들 수 있다 [5]. 본 실험에서는 RF파워의 크기는 140 W로 고정하고 주입되는 가스들의 유량비에 따른 SBT박막의 결정구조를 분석하였다. 그림 1은 Pt 기판 위에 상온에서 유량별로 증착된 SBT 박막을 800°C에서 1시간 열처리한 후 XRD분석을 한 결과이다. SBT 박막의 주 피크인 (105)가 모든 박막에서 생기는 것을 알 수 있다. 또한 (110)피크가 Ar/O₂의 비가 1:4를 제외하고 생기는 것을 볼 수 있다. 유량에 따른 SBT박막의 결정성은 열처리 시간이 1시간인 경우는 Ar/O₂의 비가 1:1일 때 제일 좋은 것으로 나타난다. 그림 2는 유량에 따른

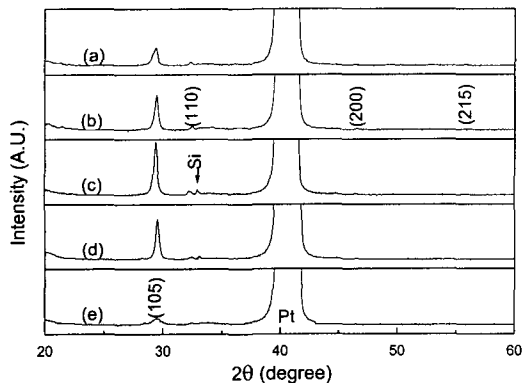


그림 2. XRD patterns of SBT thin films annealed at 800°C in oxygen ambient during 2 hours with (a) Ar/O₂ = 4:1, (b) Ar/O₂ = 2:1, (c) Ar/O₂ = 1:1, (d) Ar/O₂ = 1:2, and (e) Ar/O₂ = 1:4.

SBT박막을 2시간 열처리 하였을 때 SBT의 XRD 분석결과를 나타낸 것이다. 동일한 SBT박막에 대해 열처리 시간이 증가하였을 때 결정성이 향상되는 것으로 보아 스퍼터로 증착한 SBT박막의 열처리 시간을 2시간으로 하여 실험하였다. 그림 1과 2를 통해 Ar/O₂의 유량비가 1:1일 때가 본 실험실에서 사용한 스퍼터의 유량비가 스퍼터로 SBT박막 성장시에 결정성에 있어서 제일 좋은 것으로 확인되었다.

3.2. SBT 박막의 미세구조

그림 3은 SBT박막을 Ar/O₂의 비가 1:1에서 증착하여 800°C 산소분위기에서 1시간 동안 열처리한 후 주사전자 현미경을 가지고 단면을 관찰한 결과이다. 관찰 결과 성장된 SBT박막의 증착율은 약 3000 Å정도로 50 Å/min을 나타낸다. 그림 4는 SBT박막을 Ar/O₂의 비가 1:1에서 증착하여 800°C 산소분위기에서 1시간 동안 열처리한 후 주사전자 현미경을 가지고 단면을 관

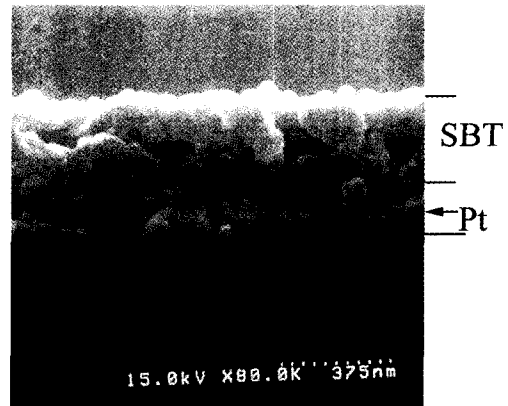


그림 3. SEM cross sectional photographs of Pt/SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si structures at final annealing at 800°C during 1 hour.

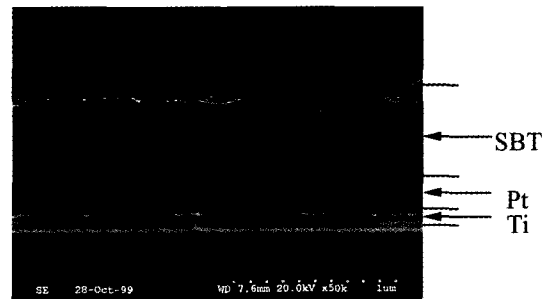


그림 4. SEM cross sectional photographs of Pt/SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si structures at final annealing at 800°C during 2 hour.

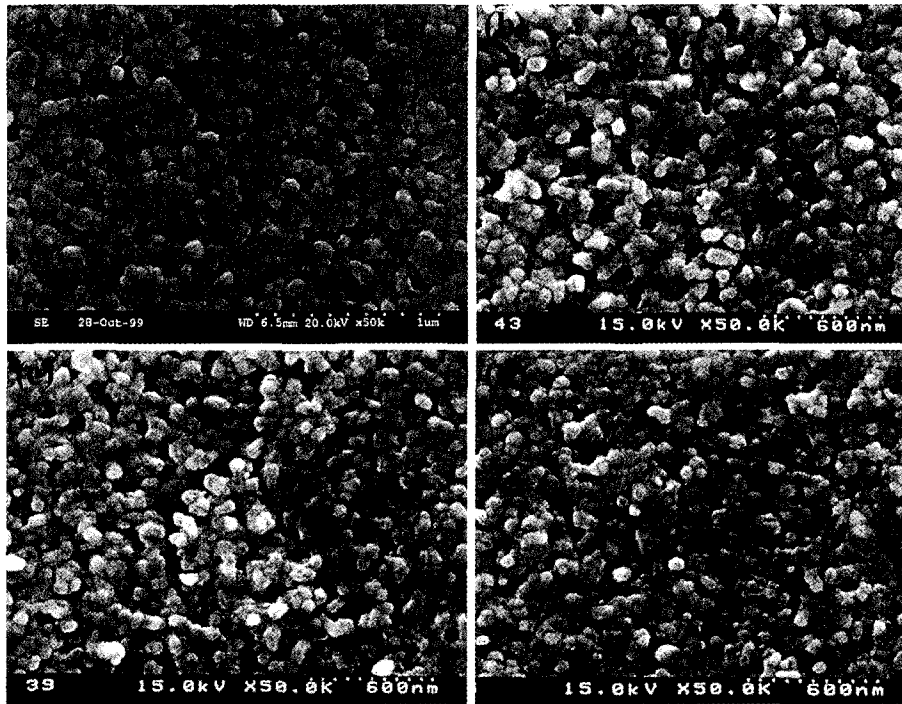


그림 5. Microstructure of SBT thin films after final annealing at 800°C during 1 hour (a) with Ar/O₂ = 4:1, (b) with Ar/O₂ = 2:1, (c) with Ar/O₂ = 1:1 and (d) with Ar/O₂ = 1:2.

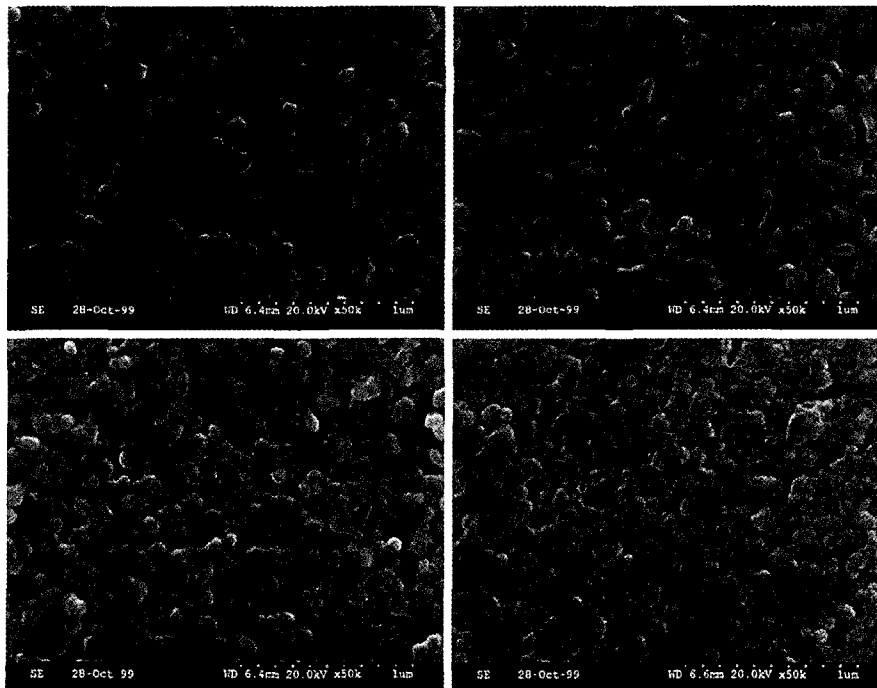


그림 6. Microstructure of SBT thin films after final annealing at 800°C during 2 hours with Ar/O₂ = 4:1, (b) with Ar/O₂ = 2:1, (c) with Ar/O₂ = 1:1 and (d) with Ar/O₂ = 1:2.

찰한 결과이다. 그림 5는 산소 분위기 800°C에서 행해진 다양한 Ar/O₂의 비를 가진 SBT 박막의 1시간 동안의 열처리 후 박막의 표면 미세 구조를 주사전자 현미경을 이용하여 관찰한 것이다. 박막 표면에서는 많은 빈 공간들이 관찰되었다. 이러한 치밀하지 못한 박막의 특성이 박막의 누설 전류특성 측정 시에 영향을 주는 것으로 생각된다. 그림 6은 SBT박막의 열처리 시간이 2시간인 경우에 박막의 표면 미세 구조를 관찰한 것이다. 박막이 2시간 열처리 후 상당히 치밀해지고 빈 공간이 줄어들었음을 확인하였다. 이러한 미세구조의 변화가 박막의 전기적 특성에 영향을 준 것으로 생각된다.

3.3. SBT 박막의 이력특성

Pt(1200 Å)/Ti(400 Å)/SiO₂/Si기판 위에 SBT를 가스 유량비에 따라 3000 Å 증착한 후 Ar/O₂ 변화에 따른 각각의 항전계와 잔류분극을 측정하였다. SBT박막의 치밀하지 못한 특성으로 인해 상부 전극인 Pt의 증착시 Pt의 침투현상이 나타나므로 전극을 증착시킨 후에 열처리 하지 않으면 전기적 특성이 매우 나쁘다고 알려져 있다 [6]. 따라서 전기적 측정을 위해 상부전극 증착후 다시 열처리를 실시하였다. 그림 7, 그림 8 및 그림 9는 Ar/O₂의 비가 각각 1:2, 1:1, 2:1인 SBT박막에 대해 산소 분위기 800°C에서 2시간 열처리 후 ±3V, ±5V, ±7V, ±9V의 전압을 인가하였을 때 P-V이력곡선을 측정하여 나타낸다. 그림 6, 그림 7, 그림 8에서 보면 모든 이력 곡선에서 비대칭성이 나타난다. 이러한 비대칭성은 SBT박막 내에 내부 전계에 의한 것으로 생각된다. Perovskite 구조를 가지는 산화물에서, 산소 분위기는 전하량의 균형과 화학양론에 영향을 미

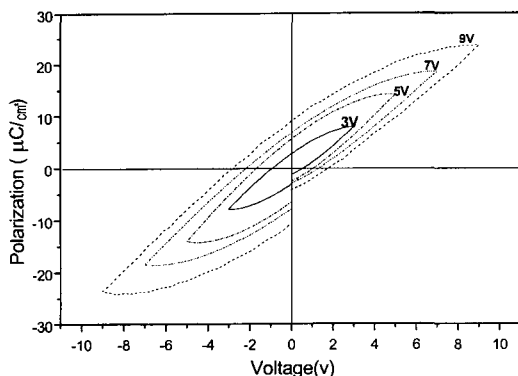


그림 7. P-V curves of SBT thin film with Ar/O₂ = 1:2 ratio annealed at 800°C in oxygen ambient during 2 hours.

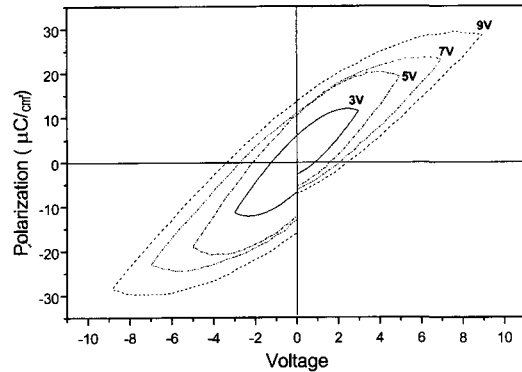


그림 8. P-V curves of SBT thin film with Ar/O₂ 1:1 ratio annealed at 800°C in oxygen ambient during 2 hours.

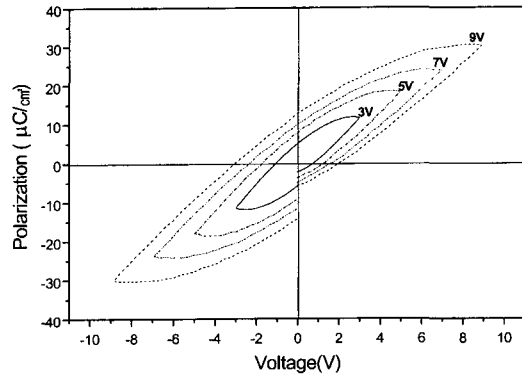


그림 9. P-V curves of SBT thin film with Ar/O₂ = 2:1 ratios annealed at 800°C in oxygen ambient during 2 hours.

치므로 산소와 그와 관계되는 결함들은 전기적 성질과 신뢰성 문제에 있어서 중요한 역할을 한다. 더욱이 산소 결핍은 가장 움직이기 쉬운 내부 결함이며, SBT 박막의 내부에는 Bi의 휘발에 의해 발생하는 산소결핍이 존재하므로 음의 극성이 대전된 산소 결핍의 운동에 영향을 줄 수 있을 것이다. 박막 내부에 존재하는 음의 극성은 대전된 산소 결핍의 비대칭적인 분포를 유도하고 이러한 SBT 박막에 존재하는 대전된 산소 결핍의 비대칭적인 분포가 P-E이력곡선의 비대칭성을 나타내는 원인이라고 생각된다. 또한 Ar/O₂의 비의 변화는 SBT 박막의 결정성을 변화시키고 이에 따라서 결정성의 변화는 Pr값의 변화를 가져와서 결정성이 제일 좋은 Ar/O₂ = 1:1에서 제일 큰 Pr값을 나타낸다.

3.4. SBT박막의 누설전류밀도 특성

그림 10와 그림 11은 Ar/O₂비가 다르게 성장된

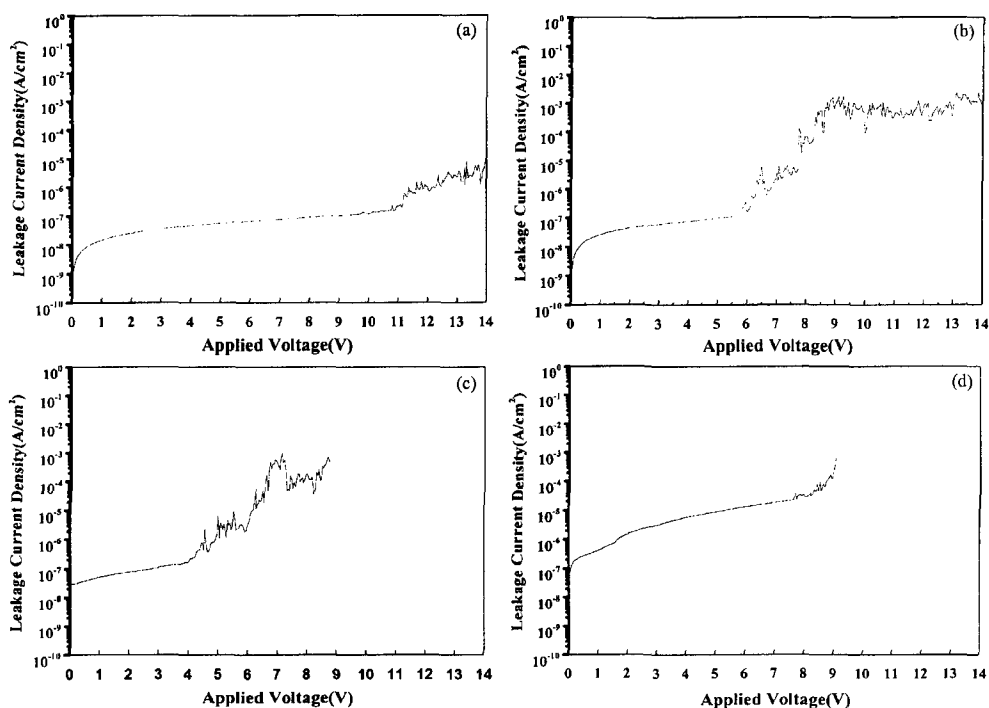


그림 10. I-V curves of Pt/SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si annealed at 800°C during 1 hour with (a) Ar/O₂ = 2:1, (b) Ar/O₂ = 1:1, (c) Ar/O₂ = 1:2, (d) Ar/O₂ = 1:4.

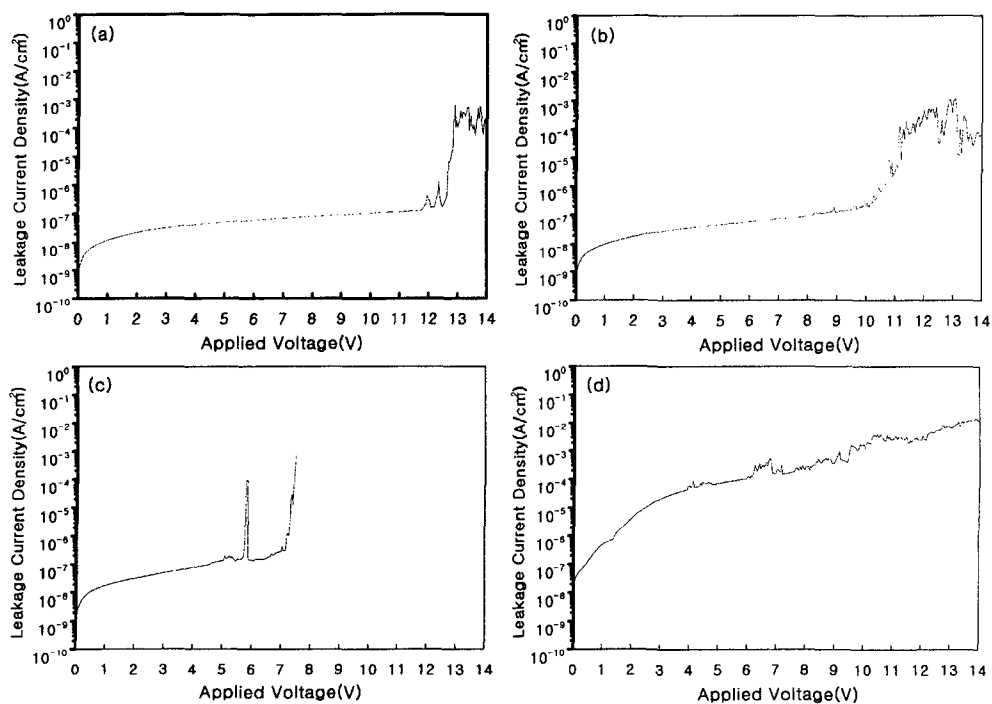


그림 11. I-V curves of Pt/SBT/Pt/Ti/SiO₂/Si annealed at 800°C during 2 hours with (a) Ar/O₂ = 2:1, (b) Ar/O₂ = 1:1, (c) Ar/O₂ = 1:2, (d) Ar/O₂ = 1:4.

표 1. Values of leakage current density at 3 V, 5V, 7

	3V		5V		7V	
	1시간 열처리	2시간 열처리	1시간 열처리	2시간 열처리	1시간 열처리	2시간 열처리
Ar/O ₂ = 2:1	3.55×10^{-8}	3.12×10^{-8}	5.52×10^{-8}	5.00×10^{-8}	7.55×10^{-8}	5.96×10^{-8}
Ar/O ₂ = 1:1	6.03×10^{-8}	2.77×10^{-8}	9.62×10^{-8}	4.73×10^{-8}	3.68×10^{-8}	7.58×10^{-8}
Ar/O ₂ = 1:2	1.10×10^{-7}	4.99×10^{-8}	6.54×10^{-6}	1.31×10^{-7}	3.36×10^{-4}	2.77×10^{-7}

SBT 박막을 800°C에서 각각 1시간, 2시간 열처리한 후 누설전류특성을 측정하였다. Ar/O₂의 비가 4:1인 경우에는 누설전류를 측정할 수 없었는데 Ar이 과량이 되면 반응기체로 주입된 O₂의 양이 적어 O₂에 의한 SBT 산화막의 형성이 어렵기 때문인 것으로 생각된다. 각 각의 유량별 특성을 보면 열처리 시간을 2시간으로 하였을 때 결정화 특성이 제일 좋은 1:1에서 누설전류특성이 제일 좋은 것으로 나타났다. 각 각의 유량비에 따른 3 V, 5 V, 7 V에서의 측정값을 표 1에 나타내었다. 테이블에서 보면 유량비가 1:1, 2:1, 1:2인 경우에 있어서는 열처리 시간이 증가하면 누설 전류 밀도가 향상됨을 알 수 있다. 열처리 시간이 증가하였을 때 SBT박막의 누설 전류 특성이 조금 향상되는 것은 열처리 시간의 증가로 인하여 SBT박막의 결정성이 향상된 것에 기인한 것이라고 판단된다 [6].

3.5. AES분석

Pt/Ti/SiO₂/Si기판위에 SBT박막을 증착하여 깊이의 변화에 따른 조성의 변화를 살펴보았다. 그림 12는 박막 시편의 깊이에 따른 조성의 변화를 조사하기 위해, Pt 위에 SBT박막을 Ar/O₂=1:1의 유량에서 스퍼터로 3000 Å 올린 후 800°C에서 1시간 열처리 후 AES분석을 한 것이다. Pt기판 위에 성장된 SBT의 경우 Pt,

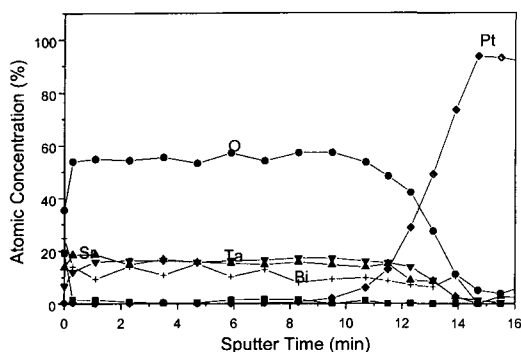


그림 12. AES depth profile of SBT thin film annealed at 800°C in oxygen ambient during 1 hour.

O, Ta에 대한 민감도는 높으나 Bi, Sr의 민감도는 현저하게 낮아 실제적인 조성과는 정확하게 잘 들어맞지는 않는다. 하지만 그림 12에서 보는 바와 같이 Sr과 Bi와 Ta가 깊이에 따라 원자 비율이 거의 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 성장시킨 SBT 박막의 정확한 조성은 WDS 분석을 통하여 실시하였으며 화학량론과 거의 일치함을 확인하였다.

4. 결 론

본 실험에서는 스퍼터로 SrBi₂Ta₂O₉ 세라믹 타겟을 이용하여 SBT박막을 Ar/O₂의 변화에 따라 증착하였다. 또한 스퍼터로 증착시에 열처리 시간 변화에 따른 SBT박막의 미세구조변화와 전기적 특성을 측정하였다. SBT 박막을 Pt기판 위에서 성장시켰으며 2시간 열처리 시에 Ar/O₂의 유량 변화에 따른 XRD측정결과 Ar과 O₂의 비가 1:1인 경우 결정화가 제일 잘 되었으며 또한 열처리 시간을 2시간으로 증가하였을 때 모든 Ar/O₂의 유량비에서 결정성이 증가하였다. 따라서 스퍼터로 SBT박막을 증착할 경우에는 열처리 시간을 늘림으로써 결정성이 향상될 수 있음을 확인하였다. 열처리 시간을 2시간으로 늘렸을 때 전기적 특성 중 이력특성이 Ar/O₂의 유량이 2:1, 1:1, 1:2일 경우에 나타나고 Ar이 과량이거나 O₂가 과량인 Ar/O₂의 유량비가 1:4, 4:1인 경우에는 이력 특성이 전혀 나타나지 않았다. 이것으로 보아 Ar이 과량인 경우에는 반응성 가스인 O₂가 적어 SBT산화물의 형성이 잘 안 된다고 생각된다. 또한 O₂가 과량인 경우에는 산화물 형성이 촉진되어 전기적 특성에 안 좋은 영향을 미치는 것으로 생각된다. 누설 전류 특성은 가스비가 1:1인 경우와 2:1인 경우에 있어서 10^{-8} A/cm² 정도로 동작 전압이 3 V, 5 V, 7 V인 경우에서 거의 비슷한 값을 유지하였다. 열처리 시간을 2시간으로 증가한 경우에 Ar/O₂의 유량비가 1:1, 2:1, 1:2인 경우에 있어서 누설전류밀도가 향상되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 열처리 시간의 증가로

인한 결정성의 향상에 기인한 것으로 판단된다. 스퍼터로 SBT를 증착하였을 때는 박막내의 결정립이 타원형으로 관찰되었고 이러한 타원형의 결정립으로 인하여 박막내의 빈공간이 많이 발생하는 것으로 관찰되었다. 열처리 시간의 증가로 인한 결정립의 증가로 인하여 박막내의 빈공간이 감소함을 관찰할 수 있다 [8].

감사의 글

본 연구는 산업자원부와 과학기술부에서 시행하는 시스템 집적반도체 기반기술개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다(No. 98-B6-C0-00-02-00).

참고문헌

- [1] H. M. Duiker, P. D. Cuchiaro and L. D. McMillan, "Fatigue properties of ferroelectric PZT Thin Film and Their Characterization," *Jpn. J. Appl. Phys.* **68**, 5783-5789 (1990).
- [2] T. Mihara, H. Watanabe and C. A. Paz de Araujo, "Evaluation of imprint properties in Sol-Gel Ferroelectric Pb(Zr,Ti)O₃ Thin-Film Capacitors," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **32**, 4168-4174 (1993).
- [3] C. A. Paz de Araujo, J. D. Cuchiaro, L. D. McMillan, M. C. Scott & J. F. Scott, "Fatigue-free ferroelectric capacitors with platinum electrodes," *Nature*. **34**, pp. 627-629, 1995.
- [4] Takashi Mihara, Hiroyaki Yoshimori, Watanabe & Carlos A. Paz de Araujo, "Characteristic of Bismuth layered SrBi₂Ta₂O₉ thin-film capacitors and comparison with Pb(Zr,Ti)O₃," *Jpn. J. Appl. Phys.* **34**, pp. 5233-5239, 1995.
- [5] Kwang-Jun Cho, Jeon-Kook Lee, and Hyung-Jin Jung, "Microstructure-dependent ferroelectric properties of SrBi₂Ta₂O₉ thin-films fabricated by radio frequency magnetron sputtering," *J. Vac. Sci. A* **16**(3), 1998.
- [6] Takehiro Noguchi, Takashi Hase and Yoichi Miyasaka, "Analysis of the Dependence of Ferroelectric Properties of Strontium Bismuth Tantalate (SBT) Thin Films on the Composition and Process Temperature," *J. Appl. Phys.* **35**, 4900-4904 (1996).
- [7] H. Danuel Chen, K.R. Udayakumar Kewen K. Li, Christopher J. Gaskey, and L. Eric Cross "Dielectric Breakdown Strength in Sol-Gel Derived PZT Thick film." *Integrated Ferroelectrics*, **15**, 89-97 (1997).
- [8] Ichiro Koiwa, Takao Kanehara, Juro Mita, Toshiyuki Iwabuchi, and Tetsuya Osaka "Crystallization of Sr_{0.7}Bi_{2.3}Ta₂O_{9+α} Thin Films by Chemical Liquid Deposition." *Jpn. J. Appl. Phys.* **35**, 4946-4951 (1996).