

(Ba,Sr)TiO₃ 박막의 전기적 성질과 누설전류 전도기구

정용국 · 임원택 · 손병근 · 이창효

한양대학교 물리학과
(2000년 2월 12일 접수)

Electrical properties of (Ba,Sr)TiO₃ thin films and conduction mechanism of leakage current

Yong-kuk Jeong, Won-taeg Lim, Byoung-keun Son, and Chang-hyo Lee

Department of Physics, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
(Received February 12, 2000)

요 약 - 고주파 스퍼터링 방법으로 증착조건을 변화시키면서 BST 박막을 제작하였다. 증착온도가 높을수록, Ar/O₂비가 적을수록 우수한 전기적 특성을 보였다. 누설전류 전도기구를 분석하기 위해 Schottky 모델과 modified-Schottky 모델을 도입하였다. BST 박막의 누설전류 전도기구는 기존의 Schottky 모델이 아니라 modified-Schottky 모델을 따른다는 것을 알았다. Modified-Schottky 모델을 사용하여 광학유전상수 $\epsilon = 4.9$, 이동도 $\mu = 0.019 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 그리고 장벽높이 $\phi_b = 0.79 \text{ eV}$ 를 구하였다.

Abstract - BST thin films were prepared with various deposition conditions by rf-magnetron sputtering. As substrate temperature increases and Ar/O₂ ratio decreases, the electrical properties of the BST films improve. The conventional Schottky model and modified-Schottky model were introduced in order to investigate the leakage-current-conduction mechanisms of the deposited films. It was found that the modified-Schottky model better describes the current-conduction mechanism in the BST films than the conventional Schottky model. From the modified-Schottky model, optical dielectric constant (ϵ), electronic drift mobility (μ), and barrier height (ϕ_b) are calculated as $\epsilon = 4.9$, $\mu = 0.019 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ and $\phi_b = 0.79 \text{ eV}$.

1. 서 론

강유전체 물질은 ULSI DRAM(Dynamic Random Access Memory)에 응용 가능한 물질로 최근 각광을 받고 있다. 강유전체 물질은 기존의 실리콘 질화-산화막 보다 높은 유전상수를 가지기 때문에 커패시터의 충분한 축전용량을 유지하면서 평면화 할 수 있다는 장점이 있다. 특히 Ba_xSr_{1-x}TiO₃ (BST) [1-6] 박막은 유전상수가 크고, Pb계 페로브스카이트(perovskite) 즉, PbTiO₃, Pb(Zr,Ti)O₃ [7-9] 등의 강유전체에 비해 고주파에서도 유전특성 저하가 적다. 그리고, Ba과 Sr의 함량을 적절히 조절하면 상온에서 상유전상으로 존재하기 때문에 강유전 도메인 스위칭에 기인하는 피로(fatigue), 노화(aging) 등의 문제가 없다.

하지만, 아직 BST 박막을 DRAM에 바로 적용하기

위해선 몇 가지 문제점이 있다. 그 중 누설전류 문제는 디바이스 응용시 매우 중요한 요소이다. 특히, DRAM에서 refresh time와 직접적인 관련이 있어 디바이스 내의 신뢰도 및 전력소모를 결정하는 주된 인자가 된다. 지금까지, BST 박막의 인가전압, 온도, 그리고 전극물질에 따른 누설전류 현상들이 고찰되었고, 이에 관한 많은 전도기구 모델이 제시되었다. Schottky emission [10], Poole-Frenkel emission [11], space charge limited conduction [12] 등이 그 대표적인 예이다. 이 중에서 가장 일반적으로 받아들여지고 있는 모델은 Schottky emission 이다. 비록 이 모델이 측정된 데이터 값과 비교해볼 때, 우수한 피팅 결과를 제공해주지만, 모델에서 계산된 파라미터(Richardson 상수, 유전상수)들은 실험에서 구한 값과 잘 일치하지 않는 경향을 보이고 있다. 실례로 Schottky emission으로 계산된 BST 박막의

Richardson 상수는 자유전자 경우의 상수값 $120 \text{ A/cm}^2 \cdot \text{K}^2$ 에 비하여 10^3 - 10^5 배 정도 작은 값을 가진다고 보고되었다 [13-15]. 하지만 퍼롭스카이트 결정 구조에서의 전자의 유효 질량이 자유전자에 비해 5배 정도 무겁다고 볼 때 [16], 위에서 보이는 커다란 차이는 쉽게 설명되지 않는다. 또한 Schottky emission을 통해 계산된 광학적 유전상수도 실제 BST의 유전상수 4.8에 비해 너무 작은 값을 나타낸다. 이러한 사실은 퍼롭스카이트 구조의 유전박막 내에서 일어나는 전도기구 현상이 기존의 Schottky emission으로서는 쉽게 설명되지 않는다는 것을 말해준다.

따라서, Poole-Frenkel emission, space charge limited conduction, 그리고 최근에는 modified-Schottky emission [17, 18] 등의 여러 가지 전도 기구들을 이용한 다양한 해석이 시도되고 있다. 하지만 아쉽게도 BST 박막의 정확한 누설 전류 전도 기구를 완전히 설명하는 데는 아직 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 제작된 BST 커패시터 내의 기본적인 전기적 성질을 조사하고, 정확한 누설전류 기구 규명에 초점을 두고자 한다. 이를 위해 기존의 여러 기구들과 비교 분석할 것이다.

2. 실험방법

우선 아래와 같은 일련의 과정을 거쳐 (Ba,Sr)TiO₃ 강유전 박막을 증착하기 위한 target을 제작하였다. Cerac사에서 구입한 99.9% BaTiO₃ 분말과 SrTiO₃ 분말을 이용하여 Ba:Sr의 몰 비를 1:1로 되게 혼합하였다. 혼합된 분말을 전기로에 넣어 1000°C에서 3시간 동안 하소한 다음, 다시 분쇄하여 분말을 2 inch mold에 70 kgf/cm²의 압력으로 가압 성형한 후 1200°C에서 6시간 동안 소결하여 BST 세라믹 target을 만들었다.

하부전극으로 사용하기 위해 스퍼터링 방법으로 p-Si(100) 기판 위에 RuO₂ 박막을 약 120 nm 증착하였다. 증착전의 chamber내의 초기압력은 5×10^{-6} Torr 이하의 압력으로 유지 시켰다. Ar/O₂의 비는 이전 실험에서 최적화된 9/1로 하였다 [19].

BST 박막 증착 시 5분간 pre-sputtering을 실시한 후 하부전극 기판 위에 BST 박막을 85 nm 증착하였다. 증착이 끝난 후 시편을 상온까지 냉각시킨 후 꺼내었다. 증착된 박막의 조성비는 EDS(Energy Dispersive

표 1. Deposition conditions of the thin Films

| | RuO ₂ | BST | Al |
|-------------------------------------|------------------|---------------|------|
| Substrate temperature (°C) | 400, 23 | RT, 300, 600 | 23 |
| Sputtering gas (Ar/O ₂) | 9/1 | 5/5, 7/3, 9/1 | 10/0 |
| Working pressure (mTorr) | 5 | 100 | 3 |
| Target size (inch) | 2 | 2 | 2 |
| RF power (W) | 50 | 60 | 80 |
| Thickness (nm) | 120, 100 | 85 | 100 |

Spectrometer)로 확인한 결과, 타겟의 조성비와 다르게 Ba/Sr = 0.75 (Ba+Sr)/Ti = 1.1이었다.

전기적 특성을 측정하기 위하여 상부전극으로 RuO₂ 와 Al 박막을 각각 상온에서 100 nm 증착하였다. 이때 hole mask를 이용하여 반경이 140 μm인 원형의 상부전극을 증착하였다. Al 전극은 Al/BST/RuO₂ 비대칭 구조를 만들기 위해 증착하였다. 이는 뒤에 언급하겠지만 누설 전류 전도기구를 규명하기 위해서 제작되었다. 사용된 모든 박막의 증착조건은 표 1에 요약되어 있다.

박막의 두께를 확인하기 위해 surface profilometer (Dektak III)을 이용하였다. 전압에 따른 전류, 시간에 따른 전류, 온도에 따른 전류 변화를 측정하기 위해 computer와 연결된 HP4140B pA/DC voltage source system을 사용하였다. BST 박막의 유전성질은 HP4275A LCR meter를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 증착조건에 따른 BST 박막의 특성

그림 1은 증착온도에 따른 BST 박막의 누설전류 특성을 보여 주고 있다. 측정 조건은 0 V에서 15 V까지 0.2 V의 step으로 전압을 인가하였다. 이때 3초의 hold time, 2초의 delay time을 주었다. 상온과 300°C에서 증착된 박막의 경우, 인가 전압에 관계없이 Ohmic한 특성을 보인다. 600°C에서 증착된 박막의 경우, 대략 인가 전압 2V까지는 Ohmic한 특성을 나타내며, 그 이상에서는 지수 함수적으로 증가하는 특성을 보인다. 상온과 300°C에서 누설 전류가 주로 Ohmic한 특성을 보이는 것은 낮은 증착 온도에 기인하는 박막내의 porosity 또는 defect 들의 영향 때문인 것으로 생각된다. 인가 전압 2V에서 누설전류는 상온에서 증착한 경우 $1.38 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, 300°C에서는 $3.88 \times 10^{-7} \text{ A/cm}^2$, 그리고 600°C에서는 $4.56 \times 10^{-8} \text{ A/cm}^2$ 의 값을 가졌다.

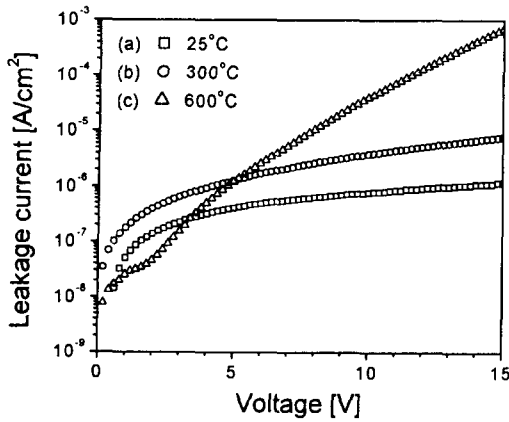


그림 1. I-V characteristic of the BST capacitors prepared at various substrate temperatures: (a) 25°C, (b) 300°C, and (c) 600°C. The BST films were deposited at the Ar/O₂ ratio of 5/5.

특히 600°C에서 증착된 박막의 누설전류 값은 기타 여러 논문들에 발표된 결과와 매우 유사하며 [20], DRAM 커패시터가 가져야 할 누설전류 조건을 잘 충족한다.

그림 2는 증착 온도에 따른 BST 커패시터의 유전특성을 보여주고 있다. 전압을 처음에는 0 V에서 +10 V로 인가한 후, +10 V에서 -10 V로, 다시 0 V로 돌아왔다. 각 전압 step은 0.2 V이고 delay time은 2초이었다. Capacitance(혹은 dielectric constant) 값은 100 kHz에서 100 mV oscillation level를 가하면서 측정하였다. 증착 온도가 높아질수록 유전상수가 커짐을 알 수 있다. 이는 증착 온도가 높아질수록 BST 박막의 결정성이 우수해져서 생긴 결과라고 생각된다. 상온과

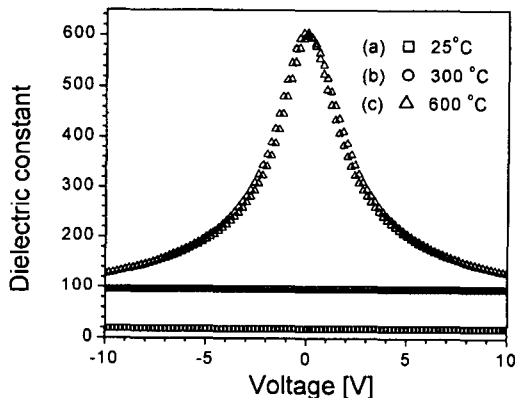


그림 2. Dielectric constants of the BST films prepared at various substrate temperature: (a) 25°C, (b) 300°C, and (c) 600°C. The BST films were deposited at the Ar/O₂ ratio of 5/5.

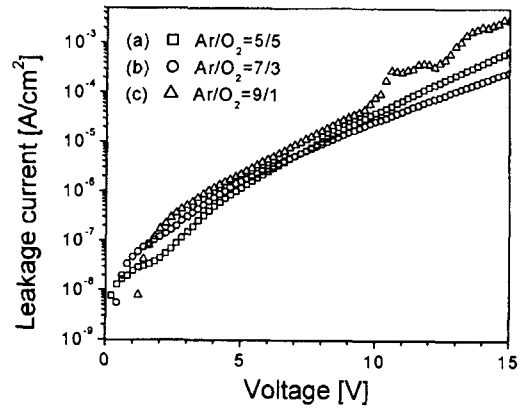


그림 3. Current-Voltage characteristic of the BST capacitors prepared at various Ar/O₂ ratios: (a) Ar/O₂ = 5/5, (b) Ar/O₂ = 7/3, and (c) Ar/O₂ = 9/1. The BST films were deposited at the substrate of 600°C.

300°C에서 증착한 박막의 경우, 인가전압에 따른 유전상수의 변화가 잘 관찰되지 않았다. 하지만 600°C에서 증착한 박막의 경우, 전형적인 C-V 곡선을 보여 주고 있다. 이러한 특성은 박막내의 결정성과 상당히 관련이 있는 것으로 보여진다. 인가 전압 0 V에서 박막의 유전상수는 상온에서 증착된 박막의 경우 19, 300°C에서는 95, 그리고 600°C에서는 600 정도의 값을 나타내었다.

그림 3은 Ar/O₂ 비에 따른 BST 박막의 누설전류 특성을 보여 주고 있다. 인가 전압 2 V에서 누설전류는 Ar/O₂ = 5/5 조건에서 증착했을 경우 4.56×10^{-8} A/cm², Ar/O₂ = 7/3 조건에서는 1.20×10^{-7} A/cm², 그리고 Ar/O₂ = 9/1 조건에서는 1.76×10^{-7} A/cm²의 값을 가졌다.

Ar/O₂ 비가 증가할수록 누설 전류가 조금씩 커지는 경향이 있었다. 이는 산소에 비해 sputtering yield가 높은 아르곤이 Ti와 O같이 원자량이 Sr보다 상대적으로 작은 원소들을 더 많이 sputtering시킴으로 박막의 성분을 화학양론적 조성에서 벗어나게 하여 박막 내에 결함을 만들기 때문이라고 생각한다. 또한 Ar/O₂ = 5/5에서 증착률이 가장 낮았는데, 이는 박막 형성 시 필요한 산소가 충분히 공급되어지며 입자들이 이동하기에 충분한 시간을 가지므로 가장 dense하고 stable한 박막이 만들어짐을 의미한다. 이는 chamber내에 적당량의 산소가 있을수록 상대적으로 박막에 적은 damage를 주고, 입자 성장 시 안정하게 자라는 역할을 했기 때문으

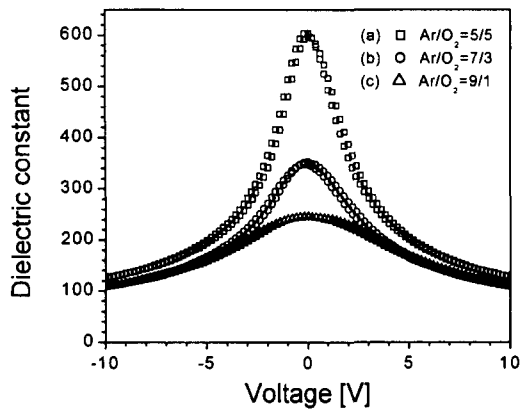


그림 4. Dielectric constants of the BST capacitors prepared at various Ar/O₂ ratios: (a) Ar/O₂ = 5/5, (b) Ar/O₂ = 7/3, and (c) Ar/O₂ = 9/1. The BST films were deposited at the substrate of 600°C.

로 보인다.

그림 4는 Ar/O₂ 비에 따른 BST 박막의 유전특성을 보여주고 있다. Voltage에 따라 hysteresis 특성을 나타내지 않았는데 이는 BST 박막이 상유전성을 띄는 것을 보여 준다. Ar/O₂ 비가 감소할수록 유전상수가 커지는 경향이 있다. 이는 Ar/O₂ 비가 감소할수록 BST 박막의 결정성이 우수해져서 생긴 결과라고 사료된다. 인가 전압 0V에서 유전상수는 Ar/O₂ = 5/5인 조건에서 대략 600, Ar/O₂ = 7/3인 조건에서 350, 그리고 Ar/O₂ = 9/1인 조건에서 245를 나타내었다.

그림 5는 인가전압에 따른 BST 커패시터의 transition-current를 보여준다. 제작된 시편의 경우 Curie-von Schweider 모델($I \propto t^{-n}$)을 따르고 있음을 알 수 있었

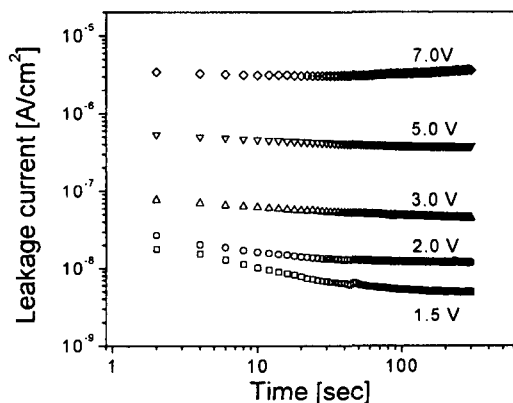


그림 5. The dependence of leakage current on time as a function of applied voltages. The BST films were deposited at the substrate of 600°C and the Ar/O₂ ratio of 5/5.

다 [21]. 이때, n 은 1보다 작은 값이다. 일반적으로 세라믹 또는 결정 시편의 경우는 Debye-type relaxation ($I \propto \exp(-t/\tau)$)을 따르고, 박막의 경우는 Curie-von Schweider 모델을 따른다. 특히 성장방향으로 granular grain 구조를 갖는 박막에서 Curie-von Schweider relaxation이 지배적이라고 보고되고 있다. 이로써 우리가 제작한 시편은 granular grain을 가진다고 볼 수 있다. 7V 이상에서는 전압을 인가하는 시간이 증가함에 따라 전류가 조금씩 증가함이 관찰되었는데, 이는 resistance degradation 이 시작됨을 보여준다.

3.2. BST 박막의 누설전류 전도기구

BST 박막의 누설전류 전도기구를 조사하기 위해 상·하부전극이 서로 다른 구조, 즉 Al/BST/RuO₂ 구조의 커패시터를 제작하였다. 이 때, 사용된 BST 박막은 중착온도 600°C, Ar/O₂ 비 5/5에서 제작된 막을 이용하였다.

제작된 BST 박막의 전류-전압 특성은 인가전압의 제곱근 즉, $V^{1/2}$ 에 선형적인 관계가 있음을 확인 할 수 있었다(그림 8, 10). 누설전류와 $V^{1/2}$ 의 직선적인 비례 관계는 박막의 전도기구가 Poole-Frenkel emission (bulk limited current mechanism)이거나 Schottky emission(barrier limited current mechanism)임을 말해준다. 이 때 두 전도기구는 일반적으로 전계 방향에 따른 누설전류의 대칭성과 비대칭성으로 구별된다.

그림 6을 보면 capacitor의 누설전류 특성이 인가 전압의 방향에 따라 서로 다른 결과를 보임을 알 수 있

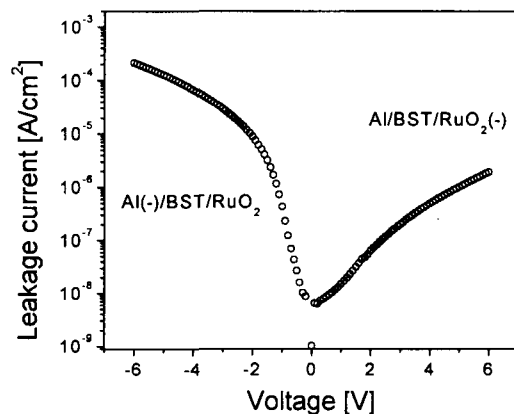


그림 6. Leakage current of the Al/BST/RuO₂ capacitor with the polarity of applied voltage. The BST films were prepared at the substrate of 600°C and the Ar/O₂ ratio of 5/5.

다. 이 때, 인가 전압의 부호는 상부전극인 Al 쪽을 기준으로 잡았다. 이 사실은 제작된 커패시터의 누설전류 전도기구가 Poole-Frenkel emission이 아니라 Schottky emission임을 말해준다.

앞으로는 누설전류 전도기구를 규명하는데 Schottky emission과 modified-Schottky emission 두 가지로 제한하며 각각에 대한 비교분석을 통해 적합한 전도기구를 찾아낼 것이다.

3.2.1 Schottky emission model

먼저 Schottky emission 모델을 이용하여 전류-전압 특성을 분석하였다. Schottky 모델에 의한 J(전류밀도)-E(전계)의 관계는 아래의 식으로 표현된다.

$$J = A^*T^2 \exp(-\phi_b/kT) \exp(\beta E_0^{1/2}) \tag{1}$$

여기서, $A^* = 4em^*k^2/h^3 = 120(m^*/m_0) [A/cm^2 \cdot K^2]$ 이고 $\beta = (\epsilon/kT)(e/4\pi \epsilon_0 \epsilon)^{1/2}$ 로 정의된다.

이때, ϵ_0 는 진공의 유전율, ϵ 는 유전체의 유전상수, E_0 는 전극/유전체 계면에서의 전기장($E_0 = V_{app}/d$; d: 유전체의 두께), 그리고 ϕ_b 는 장벽높이(barrier height)를 각각 나타낸다.

식 (1)은 아래의 두 식으로 각각 다르게 표현할 수 있다.

$$\ln(J/T^2) = \ln A^* + [-\phi_b/k + (e/k)(e/4\pi \epsilon_0 \epsilon)^{1/2} E_0^{1/2}] [1/T] \tag{2}$$

$$\ln J = \ln(A^*T^2) - \phi_b/kT + (\beta/d)V^{1/2} \tag{3}$$

식 (2)로부터 장벽높이를 구하기 위해 온도변화에

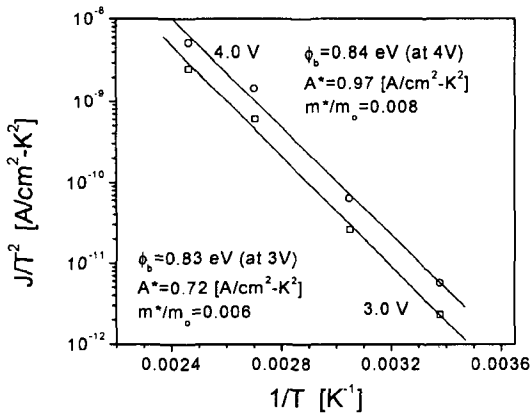


그림 7. Dependence of current density on temperature at constant applied voltage. Data are fitted in accordance with equation (2).

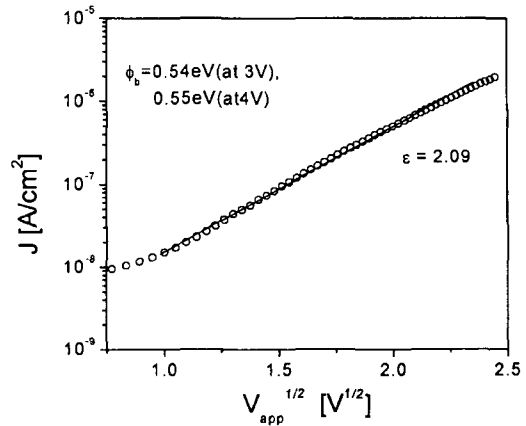


그림 8. Dependence of current density on applied voltage at 23°C.

따른 누설전류의 변화를 고찰하였다. 이 결과를 그림 7에 나타내었다. 그래프의 기울기로부터 장벽높이(ϕ_b)를 구할 수 있고, 절편으로부터 Richardson 상수(A^*), 유효전자질량(m^*)을 구할 수 있다. 장벽높이를 구한 결과 3 V의 인가전압에서는 $\phi_b = 0.83$ eV, 4 V의 인가전압에서는 $\phi_b = 0.84$ eV이었다. 이 때, 유전율은 그림 8에서 구한 $\epsilon = 2.09$ 를 대입하였다. 절편으로부터 A^* 와 m^* 구하면 3V의 인가전압에서 $A^* = 0.72 A/cm^2 \cdot K^2$, $m^* = 0.006 m_0$ (m_0 = 자유전자질량)이고, 4 V의 인가전압에서 $A^* = 0.97 A/cm^2 \cdot K^2$, $m^* = 0.008 m_0$ 의 값을 가졌다. 이 값은 Berglund [16]에 의해서 발표된 값 $m^* \sim 5 m_0$ 와 비교해 볼 때 매우 큰 차이를 보이고 있다. 위의 사실은 BST의 전도 기구를 설명함에 있어 Schottky 모델이 잘 맞지 않는다는 것을 말해준다.

그림 8은 23°C에서 측정된 $V^{1/2}$ 에 따른 누설전류밀도를 그린 그래프이다. 식 (3)을 이용하면, 그래프의 기울기로부터 유전상수를 구할 수 있고 절편으로부터 장벽높이를 구할 수 있다. 유전 상수 값을 계산한 결과 $\epsilon = 2.09$ 의 값을 가진다. 하지만 이 값은 광학적인 방법으로 구한 $\epsilon = 4.8$ 과 큰 차이를 보인다 [18]. 장벽높이를 구하면 그림 7에서 3V의 인가전압에서 구한 A^* 대입하였을 때 $\phi_b = 0.54$ eV이었다. 4 V에서는 $\phi_b = 0.55$ eV의 값을 나타내었다. 이 값은 앞에서 구한(그림 7) 장벽높이 $\phi_b = 0.83-0.84$ eV의 값과 일치하지 않는다. 결론적으로 우리가 제작한 BST 유전물질과 전극사이에서 일어나는 전도기구를 잘 설명하기 위해서는 기존의 Schottky emission 모델이 아닌 다른 모델이 필요하다

는 것을 알 수 있다.

3.2.1 Modified-Schottky emission model

Modified-Schottky emission 모델은 Simmons [17]에 의해 제안되었다. 기존의 Schottky emission 모델은 전자의 평균자유 행로(mean free path)가 절연체의 두께보다 큰 경우에 일반적으로 적용되는 모델이다. 이에 반해 modified-Schottky emission은 전자의 자유행로가 절연체 두께에 비해 작을 때 적용된다. 따라서 아래 식 (4)에서 알 수 있듯이 유전체 내에서 전자의 이동도가 반드시 고려되어야 한다.

$$J = \alpha T^{3/2} E_0 \mu (m^*/m_0)^{3/2} \exp(-\phi_b/kT) \exp(\beta E_0^{1/2}) \quad (4)$$

여기서 $\alpha = 2e(2km_0/h^2)^{3/2} = 3 \times 10^{-4}$ [A-s/cm³-K^{3/2}], μ : 유전체내에서의 이동도이다.

식 (4)는 아래의 식으로 다시 쓸 수 있다.

$$\ln[J/(\alpha T^{3/2} E_0)] = \ln[\mu(m^*/m_0)^{3/2}] + [-\phi_b/k + (e/k)(e/4\pi \epsilon_0 \epsilon)^{1/2} E_0^{1/2}][1/T] \quad (5)$$

$$\ln(J/E_0) = \ln[\alpha T^{3/2} \mu (m^*/m_0)^{3/2}] - \phi_b/kT + (\beta/d) V^{1/2} \quad (6)$$

그림 9는 온도변화에 따른 누설전류의 변화에 대한 그래프이다. Schottky 모델에서와 비슷한 방법으로 기울기로부터 장벽높이, 절편으로부터 전자의 이동도를 구할 수 있다. 장벽높이를 구한 결과 $\phi_b = 0.79$ eV의 값을 나타내었다. 여기서 ϕ_b 를 구할 때 필요한 유전율은 그림 10에서 구한 $\epsilon = 4.9$ 를 대입하였다. 그림 9의 절편으로부터 전자의 이동도를 구하면 $\mu = 0.019$ cm²/V-s 이었다. 이 때 $m^* = 5m_0$ 의 값 [16, 22]을 대입하였다.

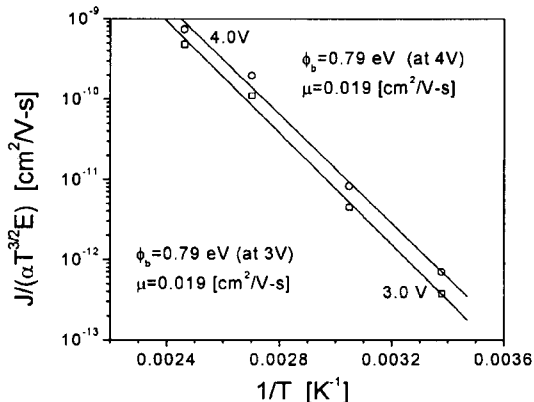


그림 9. Dependence of current density on temperature at constant applied voltage. Data are fitted in accordance with equation (5).

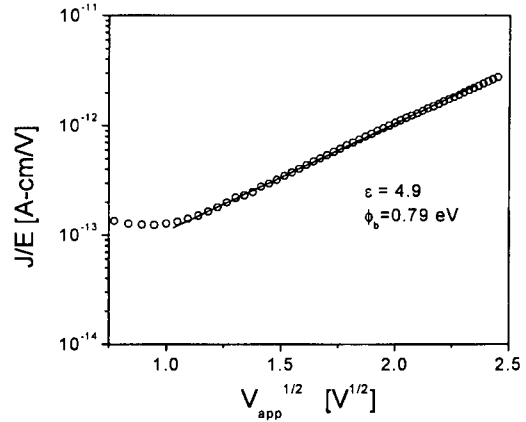


그림 10. Dependence of current density on applied voltage at 23°C. The data was analyzed for modified-Schottky equation.

여기서 계산된 전자의 이동도는 단결정 BaTiO₃, SrTiO₃에서의 이동도와 매우 비슷한 값을 가짐을 확인할 수 있었다[23, 24].

그림 10은 인가전압 V^{1/2}에 따른 누설전류를 그래프이다. 기울기로부터 유전상수 $\epsilon = 4.9$ 를 구하였다. 이 값은 광학적인 방법으로 구한 $\epsilon = 4.8$ 과 매우 잘 일치한다. 절편으로부터 장벽높이 $\phi_b = 0.79$ eV의 값을 구하였다. 이 값 역시 그림 9에서 구한 0.79 eV와 매우 잘 일치한다. 이로써 우리가 제작한 BST의 전도기구는 modified-Schottky emission 모델을 잘 따른다는 것을 알았다.

Modified-Schottky emission 모델로 구한 상수값(μ , ϕ , ϵ)을 대입하여 실제 전산모사 해 본 결과, 그림 11

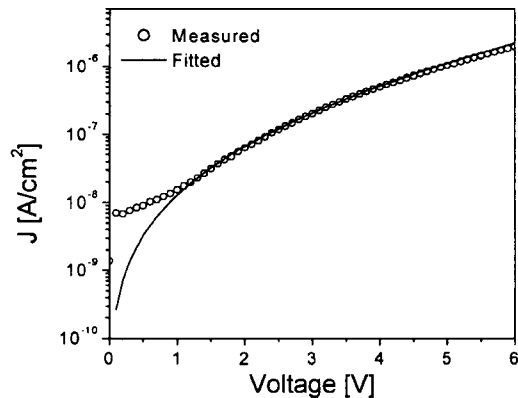


그림 11. Comparison of the measured J-V curve with the J-V curve fitted by modified-Schottky equation. The circle represents the measured data and the square fitted data.

에서 알 수 있듯이 실제 측정된 전압전류 그래프와 잘 일치하였다.

4. 결 론

1. BST 박막은 증착온도가 증가할수록, Ar/O₂ 비가 감소할수록 우수한 전기적 특성을 보였다. 증착온도 600°C, Ar/O₂ = 5/5에서 증착된 막의 누설전류는 4.56×10^{-8} A/cm², 유전상수는 600 정도의 값을 나타내었다.
2. 인가전압에 따른 BST 커패시터의 transition-current는 Curie-von Schweider 모델을 따랐다.
3. BST 박막의 누설전류 전도기구는 Schottky 모델이 아니라 modified-Schottky 모델로 잘 설명되었다. Modified-Schottky 모델을 통해 BST 박막의 광학적 유전상수 $\epsilon = 4.9$, 이동도 $\mu = 0.019$ cm²/V-s, 장벽높이 $\phi_b = 0.79$ eV를 구하였다.

감사의 글

이 논문은 1998년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음(1998-015-D00127).

참고문헌

- [1] Y. Takeshima, K. Shirasuyu, H. Takagi and Y. Sakabe, Jpn. J. Appl. Phys. **36**, 5870 (1997).
- [2] T. Nakamura, Y. Yamanaka, A. Morimoto and T. Shimizu, Jpn. J. Appl. Phys. **34**, 5150 (1995).
- [3] N. Ichinose and T. Ogiwara, Jpn. J. Appl. Phys. **32**, 4115 (1993).
- [4] S-H Paek, K.-S. Lee, J.-Y. and J-Y Sung, J. Mat. Sci. Lett. **17**, 95 (1998).
- [5] H. J. Cho and H. J. Kim, J. Korean Phy. Soc. **32**, S1332 (1998).
- [6] K. Takemura, T. Sakuma and Y. Miyasaka, Appl. Phys. Lett. **64**, 2967 (1994).
- [7] S. Horita, S. Horii and S. Umemoto, Jpn. J. Appl. Phys. **37**, 5141 (1998).
- [8] O. Auciello, K. D. Gifford and A. I. Kingon, Appl. Phys. Lett. **64**, 2873 (1994).
- [9] K. Suu, A. Osawa, Y. Nishioka and N. Tani, Jpn. J. Appl. Phys. **36**, 5789 (1997).
- [10] J. Robertson, C.W. Chen Appl. Phys. Lett. **74**, 1168 (1999).
- [11] B. Nagaraj, T. Sawhney, S. Perusse, S. Aggarwal, Appl. Phys. Lett. **74**, 3194 (1999).
- [12] R. E. Avila, J. V. Caballero, V. M. Fuenzalida, I. Eisele, Thin Solid Films. **348**, 44, (1999).
- [13] R. Waser, Science and Technology of Electroceramic Thin Films, p. 223 (Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, 1995).
- [14] Y. P. Wang and T. Y. Tseng, J. Appl. Phys. **81**, 6762 (1997).
- [15] G. W. Dietz, R. Waser, S. K. Steffer, C. Basceri, A. Z. Kingon, J. Appl. Phys. **82**, 2359 (1997).
- [16] C. N. Berglund and W. S. Baer, Phys. Rev. **157**, 358 (1967).
- [17] J. G. Simmons, Phys. Rev. Lett. **15**, 967 (1965).
- [18] Sufi Zafer, Robert E. Jones and Bo Jiang, Appl. Phys. Lett. **73**, 3533 (1998).
- [19] W. T. Lim, K. R. Cho and C. H. Lee, Thin Solid Films **348**, 56 (1999).
- [20] Koichi Takemura, Toshiyuki Sakuma and Yoichi Miyasaka, Appl. Phys. Lett. **64**, 2967 (1994).
- [21] Peng, Cheng-Jien, Ph.D, Processing/structure/property relationship of barium strontium titanate thin films for dynamic random access memory application, The Pennsylvania State University (1994).
- [22] H. P. R. Frederikse, W. R. Hosler and W. R. Thurber, Phys. Rev. **143**, 648 (1966).
- [23] D. Keroack, Y. Lepine, J. L. Brebner, J. Phys. C **17**, 833 (1984).
- [24] J. P. Boyeaux, F. M. Michel-Calendini, J. Phys. C **12**, 545 (1979).