

Rf-magnetron Sputtering 방법으로 증착한 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막의 전기적 특성 평가

이승훈, 이희철, 김호기

한국과학기술원 전기및 전자 공학과, 재료공학과*

요약

Pt(80nm)/SiO₂(150nm)/Si기판위에 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막을 rf-magnetron Sputtering 방법을 이용하여 기판온도 590℃에서 33nm 두께를 증착했을 때 비유전율은 268 이었다. 비유전율이 3.9인 SiO₂와 비교했을 때 유효 두께인 Tox는 0.45nm 이었다. 누설 전류 밀도는 1.5V 전압을 인가했을 때 4.21x10⁻⁷A/cm²이었다.

1. 서론

(Ba,Sr)TiO₃는 현재 널리 연구되고 있는 고유전율 물질로서 차세대 메모리 기억소자의 capacitor용 박막으로 사용 가능할 것으로 기대되고 있다. DRAM의 경우, 고집적화를 위한 기술적 수준은 급격히 발전하여 capacitor 박막을 입체화 하고 두께를 줄이는 방법으로 고집적화를 이루어왔다. 그러나, 1Gbit DRAM 이상의 고집적 메모리의 개발을 이룩하기 위해서는 기존의 SiO₂ 박막은 3.9의 낮은 비유전율과 5nm 정도에서의 tunneling 특성으로 부적합하다. (Ba,Sr)TiO₃ 물질은 고유전 물질로서 박막화 시켰을 때 Tox를 낮추는 연구가 많이 진행되고 있다.

본 논문은 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ target을 사용하여 rf-magnetron sputtering 방법으로 (Ba,Sr)TiO₃ 박막을 증착한 결과이다. Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막의 Tox를 낮추기 위하여 두께를 33nm 까지 낮추면서 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막을 증착하였다.

2. 본론

(Ba,Sr)TiO₃ 박막의 증착 조건은 표1과 같다. 증착할때 사용한 sputter target은 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ target과 BaO,SrO인 excess target을 사용하였다. excess target은 (Ba,Sr)TiO₃ 박막의 조성비율 향상시켜 유전 특성을 향상 시켰다. 기판은 Si 웨이퍼 위에 thermal oxidation으로 SiO₂를 150nm 증착하고 그위에 기판온도 400℃에서 Pt를 de sputtering 방법으로 80nm 증착한 기판을 사용하였다.

Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 증착조건인 기판온도를 고정하기 위하여 온도별로 증착한 기판의 XRD 분석 결과는 그림1과 같다. 기판온도를 400℃에서 650℃까지 변화시켰다. 400℃에서는 BST-(Ba,Sr)TiO₃ peak이 거의 보이지 않는다. 온도가

표1. Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막의 증착 조건

base pressure	< 2 x 10 ⁻⁶ Torr
deposition pressure	4 x 10 ⁻³ Torr
Ar : O ₂	50 : 50
power density	1.27 W/cm ²
target	ceramic Ba _{0.7} Sr _{0.3} TiO ₃ containing excess BaO, SrO
deposition rate	26 Å/min
substrate temp.	400℃ - 650℃
cooling	O ₂ cooling
substrate	Pt/SiO ₂ /Si
substrate Pt deposition temp.	400℃

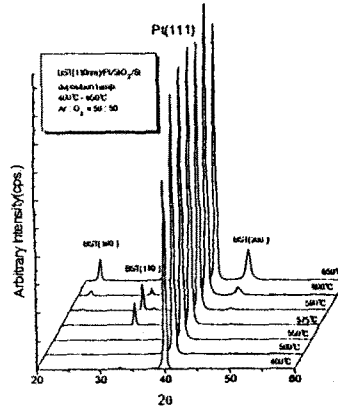


그림1. 기판온도에 따른 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막의 XRD 분석 결과

400℃에서 550℃까지는 BST(110)peak이 Pt(111) peak에 비하여 거의 보이지 않다가 575℃에서 BST(110) peak이 보이기 시작한다. 575℃와 590℃에서 BST(110) peak이 highly oriented되어 결정성이 우수한 것으로 보인다. 600℃에서는 BST(110) peak이 줄어들고 더 높은 온도인

650°C에서는 BST(110) peak은 거의 보이지 않고 BST(100), BST(200) peak이 크게 나타난다. 증착온도에 따른 비유전율을 측정 한 결과는 그림2에 나타내었다. 전반적인 경향은 온도가 증가 할수록 비유전율이 향상된다. 400°C 에서 650°C까지 선형적인 관계를 보이고 있다. 즉, 온도가 높을수록 유전 특성은 향상 되는 결과를

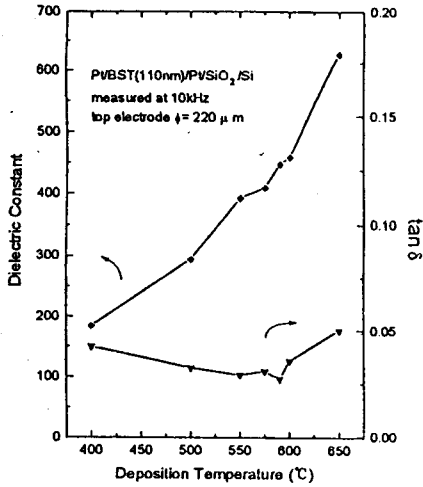


그림2. 기판온도에 따른 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막의 비유전율 특성

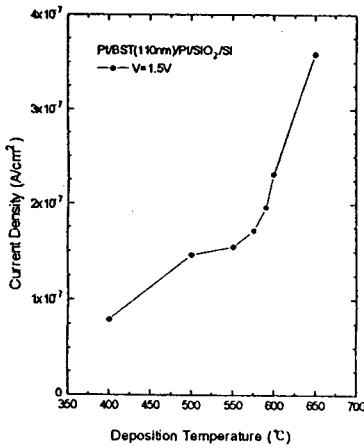


그림3. 기판온도에 따른 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막의 누설전류밀도 특성

나타낸다. 그림3은 1Gbit DRAM에 응용할 경우 실제 (Ba,Sr)TiO₃ 박막에 인가되는 전압 범위인 1.5V에서의 누설 전류 밀도 이다. 기판 온도가 높을수록 누설전류가 증가하게 되어 누설 전류 밀도 특성은 나빠진다. (Ba,Sr)TiO₃ 박막은 기판 온도 400°C부터 650°C 사이에서 기판 온도가 증가할수록 유전특성은 향상되고 누설 전류 밀도 특성은 나빠지게 된다. 유전율과 누설전류 특성을 잘 고려하여 증착온도를 590°C로 결정하였다.

결정된 증착 온도 590°C에서 두께별로 (Ba,Sr)TiO₃ 박막을 증착하여 결정성, 유전특성, 누설전류 특성을 살펴보았다. 증착두께에 따른 (Ba,Sr)TiO₃ 박막의 XRD peak 분석 결과를 그림 4에 나타내었다. 두께가 두꺼울수록 BST(110) peak이 증가하는 것으로 보아 결정성이 좋아 지는 것으로 보인다. BST(110) peak은 두께가 110nm 정도이상에서는 거의 일정하게 나타난다

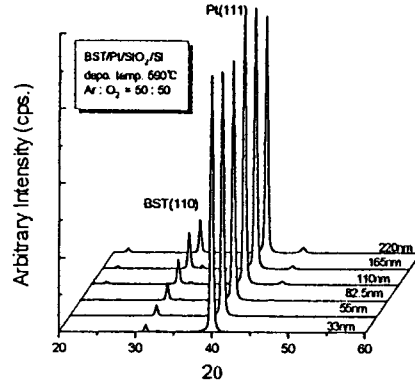


그림4. 두께에 따른 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막의 XRD 분석 결과

그림5에서 두께에 따른 Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO₃ 박막의 비유전율을 나타내었다. 두께가 110nm이상에서 비유전율이 거의 일정하게 나타난다. XRD peak의 경향과 비유전율의 경향이 비슷하게 나타난다. 두께가 33nm인 경우에 SiO₂와 비교하여 유효 두께를 계산하면 0.45nm 이다.

$$T_{ox} = t_{BST} \times \frac{\epsilon_{ox}}{\epsilon_{BST}}$$

SiO₂ 박막은 tunneling 한계가 5nm 정도이므로 실제로 SiO₂ 박막을 0.45nm 증착하여 capacitor 로 이용하는 것은 불가능한 일이다. Tox가 0.45nm 이면 1Gbit DRAM에 적용 가능한 박막 이다. 그림6은 (Ba,Sr)TiO₃ 박막 두께에 따른

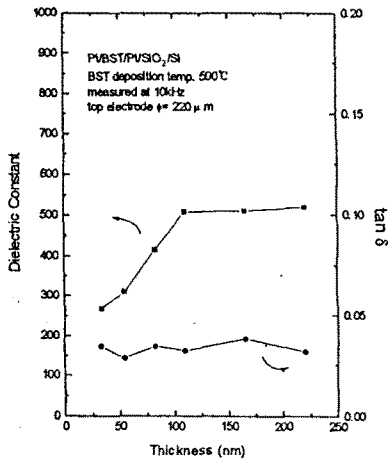


그림5. 두께에 따른 $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ 박막의 비유전율 특성

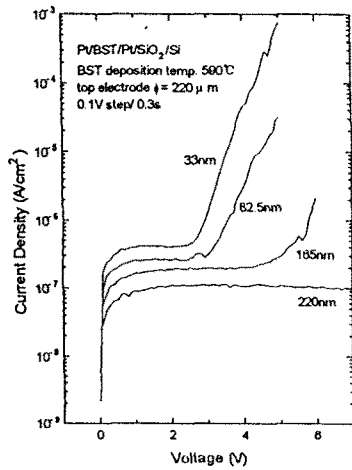


그림6. 두께에 따른 $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ 박막의 누설전류밀도 특성

누설전류밀도 특성이다. 저전계 영역은 두께가 증가할수록 넓어지는 경향을 보이고 있다. 두께가 33nm일때 저전계영역은 0V에서 2.5V 까지 정도이다. 1.5V 인가 전압에서 $4.21 \times 10^{-7} A/cm^2$ 이다. 누설 전류는 전압을 인가하는

시간을 증가시키면 누설 전류가 감소하는 현상을 보인다. 1.5V 전압을 인가할때 누설전류가 $5 \times 10^{-8} A/cm^2$ 이하이면 1Gbit DRAM 응용에 충분한 특성이다. 두께가 33nm인 $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ 박막의 누설전류 특성은 1Gbit DRAM에 응용하기 위해서는 향상시킬 여지가 있다.

3. 결론

증착 온도 590°C에서 excess target을 이용하여 rf-magnetron sputtering 방법으로 증착한 $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ 박막은 두께 33nm 에서 비유전율이 268이고 $Tox=0.45nm$ 이며 누설전류 밀도의 저전계 영역은 2.5V 까지이다. 일반적으로 (Ba,Sr)TiO₃ 박막을 sputter로 증착할때 조성비가 $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ 보다 $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ 박막이 전기적 특성이 좋으므로 Ba와 Sr의 조성비가 1:1인 $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ 박막을 sputter로 증착하면 Tox 가 더 낮은 박막을 얻을수 있을 것으로 기대된다. Tox 가 0.45nm인 두께 33nm의 $Ba_{0.7}Sr_{0.3}TiO_3$ 박막은 누설 전류 특성을 향상 시키면 1Gbit DRAM에 적용 가능하다.