

論文97-34D-8-2

RF Magnetron Reactive Sputtering 법을 이용한 RuO₂ 박막의 제작과 특성에 관한 연구

(Preparation and Properties of RuO₂ Thin Films by Using the RF Magnetron Reactive Sputtering)

姜聲俊*, 張東勳*, 尹英燮*, 金東一*

(Seong Jun Kang, Dong Hoon Jang, Yung Sup Yoon, and Dong Il Kim)

요 약

RF magnetron reactive sputtering 법으로 RuO₂ 박막을 제작하여, O₂/(Ar+O₂) 비와 기판온도에 따른 박막의 결정화 특성, 미세구조, 표면거칠기, 전기적 비저항을 조사하였다. O₂/(Ar+O₂) 비가 감소하고 기판온도가 증가함에 따라 RuO₂ 박막은 (110) 면에서 (101) 면으로 우선배향방향이 변하였다. O₂/(Ar+O₂) 비가 20% 에서 50% 로 증가함에 따라, RuO₂ 박막의 표면거칠기는 2.38 nm 에서 7.81 nm 로, 비저항은 103.6 μΩ-cm 에서 227 μΩ-cm 로 증가하는 추세를 나타내는 반면에, 증착속도는 47 nm/min 에서 17 nm/min 로 감소하였다. 기판온도가 상온에서 500℃ 로 증가함에 따라 비저항은 210.4 μΩ-cm 에서 93.7 μΩ-cm 로 감소하였고, 표면거칠기는 300℃ 에서 증착한 박막이 2.38 nm 로 가장 우수하였다. 열처리 온도가 400℃ 에서 650℃ 로 증가함에 따라 비저항은 RuO₂ 박막의 결정성 향상으로 인해 감소하였다. 이들 결과로부터 O₂/(Ar+O₂) 비 20%, 기판온도 300℃ 에서 증착한 RuO₂ 박막의 표면거칠기 및 비저항 특성이 가장 우수하여 강유전체 박막의 하부전극으로 사용하기에 적합함을 알 수 있었다.

Abstract

RuO₂ thin films are prepared by RF magnetron reactive sputtering and their characteristics of crystallization, microstructure, surface roughness and resistivity are studied with various O₂/(Ar+O₂) ratios and substrate temperatures. As O₂/(Ar+O₂) ratio decreases and substrate temperature increases, the preferred growing plane of RuO₂ thin films are changed from (110) to (101) plane. With increase of the O₂/(Ar+O₂) ratio from 20% to 50%, the surface roughness and the resistivity of RuO₂ thin films increase from 2.38 nm to 7.81 nm, and from 103.6 μΩ-cm to 227 μΩ-cm, respectively, but the deposition rate decreases from 47 nm/min to 17 nm/min. On the other hand, as the substrate temperature increases from room temperature to 500 °C, resistivity decreases from 210.5 μΩ-cm to 93.7 μΩ-cm. RuO₂ thin film deposited at 300 °C shows a excellent surface roughness of 2.38 nm. As the annealing temperature increases in the range between 400 °C and 650 °C, the resistivity decreases because of the improvement of crystallinity. We find that RuO₂ thin film deposited at 20% of O₂/(Ar+O₂) ratio and 300 °C of substrate temperature shows excellent combination of surface smoothness and low resistivity so that it is well qualified for bottom electrodes for ferroelectric thin films.

* 正會員, 仁荷大學校 電子材料工學科
(Dept. of Electronic Materials & Device Engineering,
Inha Univ.)

분야) (Ministry of Education Research Fund for
Advanced Materials in 1995) 에 의하여 연구되었
습니다.

※ 이 논문은 1995년도 교육부 학술연구조성비 (신소재 接受日字:1997年5月2日, 수정완료일:1997年7月1日

I. 서론

최근에 우수한 유전특성 및 분극특성을 갖는 강유전체 박막들을 ULSI DRAM 과 FRAM (Ferroelectric RAM) 에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다^[1]. 그러나, silicon 위에 강유전체 박막을 사용하여 캐패시터를 만들 경우, 계면에 유전상수가 작은 silicon oxide 층이 형성되어 강유전체 특성을 저하시킨다^[2]. 따라서 강유전체 박막을 실제 메모리 소자에 응용하기 위해서 해결해야 할 가장 중요한 문제중의 하나가 전극물질의 개발이다. 현재 강유전체 박막의 하부전극으로 가장 많이 이용되고 있는 재료는 platinum (Pt) 인데, Pt 는 silicon 또는 silicon oxide 와 adhesion 이 좋지 않아서 후속 열처리 공정에서 박막이 떨어져 나오는 peeling 현상이 나타나기도 하고, 증착과정에서 발생하는 압축응력과 격자불일치에 의한 hillock 이 쉽게 형성된다^[3]. 이러한 hillock 은 캐패시터 단락의 주된 원인이 되어 소자의 신뢰성이라는 측면에서 매우 큰 약점으로 지적되고 있다. 또한 Pt 는 화학적으로 매우 안정하여 패턴형성시 식각공정이 어려운 문제점등이 제기되고 있다^[4]. 반면에 ruthenium oxide (RuO₂) 는 tetragonal rutile 구조 (a = 4.4906 Å, c = 3.1064 Å) 를 갖는 전이 금속 산화물로서 열적으로 안정하며 내부식성이 우수하다. 또 bulk 상태의 비저항이 35.2 μΩ-cm 로 우수한 전기전도도를 나타내며, 산소와 silicon 에 대한 뛰어난 확산방지특성을 나타내기 때문에 강유전체의 하부전극으로 이용하기에 적합하다^[5]. 특히 RuO₂ 를 FRAM 의 하부전극으로 이용하면 Pt 전극을 사용한 것에 비하여 매우 향상된 fatigue 특성을 나타내므로 FRAM 의 하부전극으로 주목받고 있다^[6-8]. RuO₂ 박막을 강유전체의 하부전극으로 이용하기 위해서 위에 언급한 우수한 전기전도도, 확산방지 특성 이외에도 표면거칠기 (surface roughness) 를 고려해야한다. 강유전체 박막의 누설 전류 및 절연파괴 특성은 하부전극의 표면거칠기에 의해 상당히 큰 영향을 받기 때문에 매우 중요하나 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 RF magnetron reactive sputtering 법을 이용하여 RuO₂ 박막의 제작시, 산소농도 및 기판온도가 RuO₂ 박막의 미세구조, 결정성, 비저항과 특히 미세구조와 관련하여 표면거칠기에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 바탕으로 우수한 특성의 RuO₂ 박막 제작을

위한 증착조건을 확립하고자 하였다.

II. 실험방법

본 연구에서는 RF magnetron reactive sputtering 법을 이용하여 RuO₂ 박막을 제작하였다. 실험에 사용된 RF magnetron sputtering 장치는 target 을 하부에 위치시키고 기판을 상부에 장착하도록 설계된 상향식이다. RuO₂ 박막증착에 사용된 target 은 Ru metal (순도:99.9%) 이고, 기판은 SiO₂ (1200 Å)/p-type (100) Si 구조이다. 증착전에 기판의 표면에 존재할 수 있는 유기물의 제거를 위하여 TCE (trichloroethylene), acetone, isopropanol 그리고 D.I water 를 이용하여 세척을 한 후, 건조 N₂ gas 를 사용하여 기판을 건조시켰다. Ar 과 O₂ 혼합비를 mass flow controller (MFC) 로 조절하여 O₂/(Ar+O₂) 비를 20, 30, 40, 50% 로 변화시켰다. 증착에 사용된 RF power 는 125W 이고, 기판온도는 기판을 가열하지 않은 경우에서부터 200, 300, 400, 500°C 까지 변화시켰다. 박막을 증착시키기 전의 초기 진공도는 3×10⁻⁶ torr 이하로 유지시켰으며, 작업 압력은 2×10⁻³ torr 로 일정하게 유지시켰다. 그 후, 원하는 증착조건에서 플라즈마의 안정을 위해 10 분간 presputtering 한 다음 RuO₂ 박막을 증착시켰다. RuO₂ 박막의 증착조건을 table 1 에 요약해서 나타내었다. 증착된 RuO₂ 박막을 분위기 제어 없이 furnace 에서 후열처리하여 후열처리 온도에 따른 특성 변화도 조사하였다.

표 1. RuO₂ 박막의 sputtering 조건Table 1. Typical sputtering conditions for RuO₂ thin films.

Target	Ru (99.9%)
Substrate	SiO ₂ (1200Å)/Si
Gun power (RF)	125W
Base pressure	< 5×10 ⁻⁶ Torr
Operating pressure	2 mTorr
Reactive gas mixture (O ₂ /Ar+O ₂)	20% ~ 50%
Substrate temp.	RT ~ 500°C

RuO₂ 박막의 결정화 특성은 X-Ray Diffractometer (PHILIPS PW 3020, CuKα) 를 이용하여 분석하였

고, 미세구조는 SEM 을 이용하여 관찰하였다. RuO₂ 박막의 두께는 α -step surface profilometer 와 SEM 을 이용하여 구하였고, 박막의 표면거칠기는 AFM 을 이용하여 관찰하였다. 비저항은 Four-point probe 를 이용하여 측정한 면저항에 RuO₂ 박막의 두께를 곱하여 구하였다.

III. 실험결과 및 논의

RuO₂ 박막의 배향성과 결정성을 조사하기 위해 박막용 XRD 를 사용하였다.

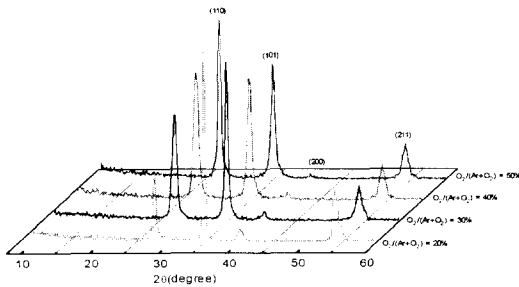


그림 1. O₂/(Ar+O₂) 비에 따른 RuO₂ 박막의 XRD pattern (기판온도 : 300°C)

Fig. 1. XRD patterns of RuO₂ thin films with various O₂/(Ar+O₂) ratios (substrate temperature : 300°C)

Fig. 1 은 기판온도를 300°C 로 고정시키고 O₂/(Ar+O₂) 의 비를 20, 30, 40, 50% 로 변화시키며 증착시킨 박막의 XRD pattern 이다. 모든 pattern 에서 금속 Ru 의 회절선은 나타나지 않고 RuO₂ 회절선만이 나타나는 것으로 보아 단일상의 RuO₂ 박막이 증착되었음을 알 수 있다. 또, O₂/(Ar+O₂) 의 비가 20% 에서 30% 사이에서는 (101) 면으로 RuO₂ 박막이 우선배향하며, 40% 를 넘어서면 (110) 면으로 우선배향 방향이 변화한다. 이와 같은 RuO₂ 박막의 우선배향성의 변화는 adatom 들의 mobility 에 상당히 큰 영향을 받게된다. 즉, 플라즈마를 구성하는 기체중에서 질량이 작은 산소의 양이 감소하면 상대적으로 질량이 큰 아르곤의 양이 증가하여, target 으로부터 sputtering 되어 기판에 도달하는 입자의 에너지가 높아지므로 기판상의 adatom 들의 mobility 가 증가하게 된다. 따라서, 산소의 양이 감소할수록 RuO₂ 박막의 우선배향 방향이 random 한 방향인 (110) 면에서,

보다 안정한 (101) 면으로 변하게 된다.

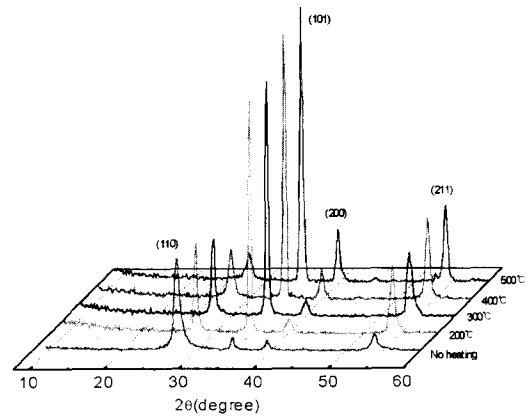


그림 2. 기판온도에 따른 RuO₂ 박막의 XRD pattern (O₂/(Ar+O₂) : 20%)

Fig. 2. XRD patterns of RuO₂ thin films with various substrate temperatures (O₂/(Ar+O₂) : 20%)

Fig. 2 는 O₂/(Ar+O₂) 의 비를 20% 로 고정시키고, 기판온도를 상온, 200, 300, 400, 500°C 로 변화시키며 증착시킨 박막의 XRD pattern 이다. 기판온도가 증가함에 따라 (110) 면의 peak 는 점차적으로 작아지는 반면에, (101) peak 는 점차 커진다. 증착된 박막의 우선배향성은 Fig. 1 에서 설명한데로 adatom 들의 mobility 에 의해서 영향을 받는다. 따라서 기판의 온도가 증가함에 따라 에너지가 높아지므로 기판상의 adatom 들의 mobility 가 증가하게 되고 RuO₂ 박막의 우선배향 방향이 random 한 방향인 (110) 면에서, 보다 안정한 (101) 면으로 변하게 된다.

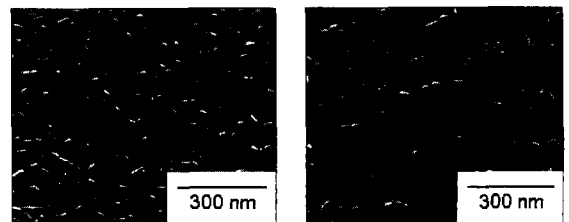


그림 3. O₂/(Ar+O₂) 비의 변화에 따라 증착된 RuO₂ 박막의 SEM 사진 : (a) 20%, (b) 50% (기판온도 : 300°C)

Fig. 3. SEM micrographs of RuO₂ thin film deposited with various O₂/(Ar+O₂) ratio : (a) 20% and (b) 50%, (substrate temperature : 300°C)

Fig. 3 은 기판온도를 300°C 로 고정시키고 O₂/(Ar+O₂) 의 비를 20% 에서 50% 로 변화시키며 증착시킨 박막의 SEM 사진을 나타낸 것이다. Fig. 2 에서 보듯이, O₂/(Ar+O₂) 의 비가 20% 일 때, 박막의 grain size 는 약 300~500Å 이고 치밀도도 비교적 우수한 반면에 O₂/(Ar+O₂) 의 비가 50% 로 증가하면 박막의 grain size 는 약 1000~1200Å 로 증가하고 치밀도 및 표면거칠기가 불량해진다. 이와 같은 변화의 원인은 플라즈마를 구성하는 기체 중에 산소의 양이 적어지면, 상대적으로 질량이 큰 아르곤에 의해 sputtering 되는 입자가 많아지므로 기판에 도달하는 입자의 flux 는 증가하고, 그에 따라 핵생성율이 증가하여 grain size 가 작은 박막이 증착된다. 이와 같이 산소양이 증가함에 따라 grain size 가 증가하는 결과는 K. Sakiyama 등^[9] 과 J. G. Lee 등^[10] 이 보고한 내용과 일치한다.

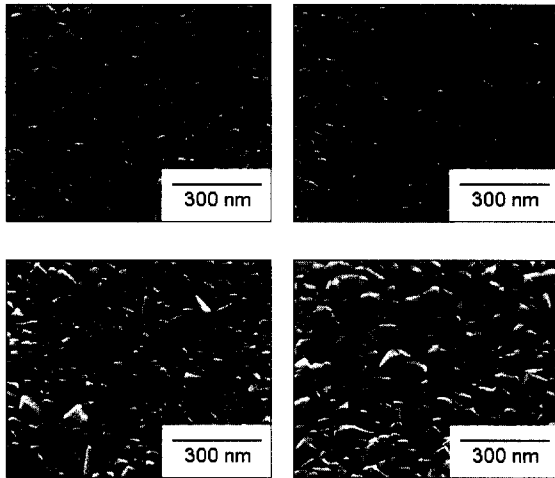


그림 4. 기판온도에 따른 RuO₂ 박막의 SEM 사진, (O₂/(Ar+O₂) : 20%) : (a) 상온, (b) 200°C, (c) 400°C and (d) 500°C

Fig. 4. SEM micrographs of RuO₂ thin films deposited with various substrate temperatures : (a) No heating, (b) 200°C, (c) 400°C, and (d) 500°C, (O₂/(Ar+O₂) ratio : 20%)

Fig. 4 는 O₂/(Ar+O₂) 의 비를 20% 로 고정시키고, 기판온도를 상온에서 500°C 로 변화시키며 증착시킨 박막의 SEM 사진이다. Fig. 4 에서 보듯이 기판온도가 증가함에 따라 박막의 표면 morphology 가 변화됨을 알 수 있다. 기판온도가 상온에서 300°C 로 증가함에 따라 박막의 표면이 치밀해지는 것을 볼 수 있다. 그러나 기판온도가 400°C 이상이 되면 grain

들의 모양이 뾰족한 형태로 되며 크기도 커져 표면거칠기가 불량해진다. 이는 400°C 이상의 기판온도에서는 높은 열에너지로 인해 adatom 들의 mobility 가 높아져 이들이 열역학적으로 안정한 자리를 찾아갈 가능성이 커진다. 따라서 핵생성은 억제되는 반면에 입자성장이 촉진되기 때문이다.

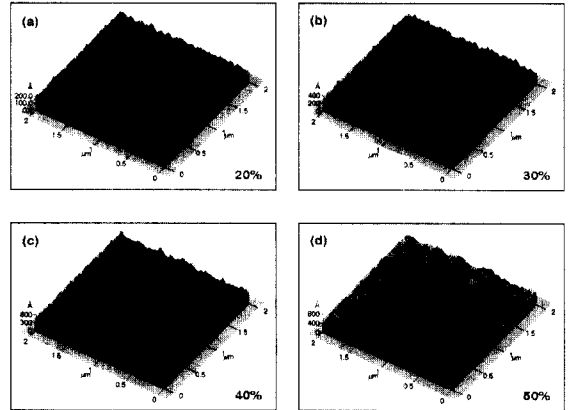


그림 5. O₂/(Ar+O₂) 비에 따른 RuO₂ 박막의 3-D AFM 사진 (기판온도 : 300°C) : (a) 20%, (b) 30%, (c) 40% and (d) 50%

Fig. 5. The 3-D AFM images of RuO₂ thin films deposited with various O₂/(Ar+O₂) ratios : (a) 20%, (b) 30%, (c) 40%, and (d) 50%, (substrate temperature : 300°C)

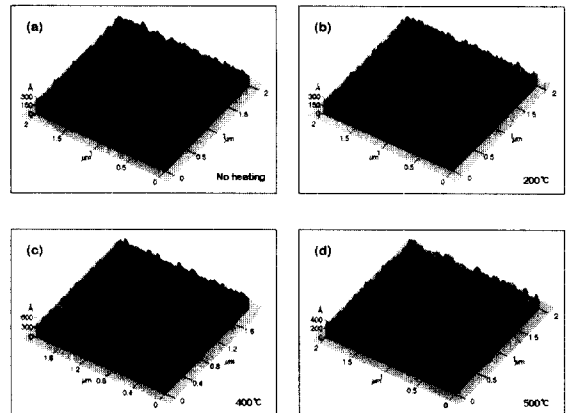


그림 6. 기판온도에 따른 RuO₂ 박막의 3-D AFM 사진 (O₂/(Ar+O₂) : 20%) : (a) 상온, (b) 200°C, (c) 400°C, (d) 500°C

Fig. 6. The 3-D AFM images of RuO₂ thin films deposited with various substrate temperatures (a) No heating, (b) 200°C, (c) 400°C, and (d) 500°C, (O₂/(Ar+O₂) : 20%)

RuO₂ 박막을 강유전체 박막의 하부전극으로 사용하기 위해서는 RuO₂ 박막의 표면거칠기가 매우 중요한

요소이다. 하부전극의 표면거칠기가 크면, 하부전극위에 증착되는 박막이 전 영역에 걸쳐 균일한 특성을 확보하기 어렵게 된다. 또, RuO₂ 박막을 실제 강유전체 박막의 하부전극으로 응용시, 상부에 증착되는 강유전체 박막의 두께가 매우 얇기 때문에 누설전류 및 절연 파괴 특성에 악영향을 미친다. Fig. 5 는 기판온도를 300℃ 로 고정시키고 O₂/(Ar+O₂) 의 비를 20, 30, 40, 50% 로 변화시키며 증착시킨 박막의 표면거칠기를 AFM 으로 조사한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5 에서 보듯이, O₂/(Ar+O₂) 의 비가 20, 30, 40, 50% 로 증가함에 따라, 박막의 표면거칠기 (RMS roughness) 는 2.38 nm 에서 7.81 nm 로 증가하였다. 이는 SEM 사진에서도 보았듯이, O₂/(Ar+O₂) 의 비에 따른 grain size 의 증가가 박막의 표면거칠기에 직접적인 영향을 미친 결과라고 생각된다. 특히 O₂/(Ar+O₂) 의 비가 20% 에서 증착된 박막의 표면거칠기 (2.38 nm) 는 기존의 논문^[10]에 보고된 결과에 비해서 우수한 결과이다.

Fig. 6 은 O₂/(Ar+O₂) 의 비를 20% 로 고정시키고, 기판온도를 상온에서 500℃ 로 변화시키며 증착시킨 박막의 표면거칠기를 AFM 으로 조사한 결과를 나타낸 것이다. 기판온도가 상온에서 300℃ 까지는 박막의 표면거칠기 (RMS roughness) 가 3.25 nm 에서 2.38 nm 으로 감소하였으며 400℃, 500℃ 가 되면 표면거칠기가 각각 4.48 nm, 4.74 nm 로 증가하였다. 이는 Fig. 4 에 나타낸 SEM 사진에서의 설명과 잘 일치한다.

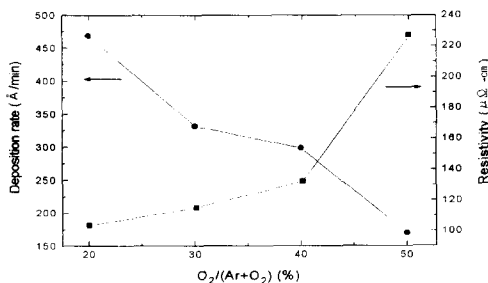


그림 7. O₂/(Ar+O₂) 비에 따른 RuO₂ 박막의 증착률과 비저항 (기판온도 : 300℃)

Fig. 7. The Deposition rate and the resistivity of RuO₂ thin film with various O₂/(Ar+O₂) ratios (substrate temperature : 300℃)

Fig. 7 에 기판온도를 300℃ 로 고정시키고 O₂/(Ar+O₂) 의 비를 20, 30, 40, 50% 로 변화시키며

증착시킨 박막의 비저항과 증착속도를 나타내었다. 증착속도는 O₂/(Ar+O₂) 의 비가 20% 에서 50% 로 증가함에 따라 47 nm/min 에서 17 nm/min 으로 감소하였다. 산소의 양이 감소함에 따라 증착속도가 증가하는 것은 플라즈마내의 산소양이 감소함에 따라 상대적으로 질량이 큰 아르곤의 양이 많아져서 target 에 충돌하는 이온의 평균에너지가 증가하기 때문이다. RuO₂ 박막의 비저항은 O₂/(Ar+O₂) 의 비가 20% 에서 50% 로 증가함에 따라 103.6 μΩ-cm 에서 227 μΩ-cm 으로 증가하였다. 이에 대한 원인은 크게 두 가지로 생각되는데, 첫째는 O₂/(Ar+O₂) 의 비가 증가함에 따라 과잉의 산소가 grain boundary 에 위치하여 scattering 을 일으키기 때문에 전하의 이동도가 감소하기 때문이며^[11] 두 번째 이유는 SEM 사진에서 보았듯이 O₂/(Ar+O₂) 의 비가 증가함에 따라 박막의 치밀도가 떨어지기 때문으로 생각된다.

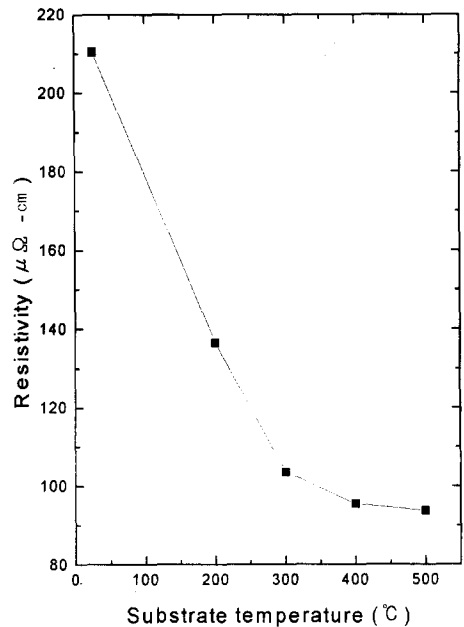


그림 8. 기판온도에 따른 RuO₂ 박막의 비저항 (O₂/(Ar+O₂) : 20%)

Fig. 8. The Resistivity of RuO₂ thin film with various substrate temperatures (O₂/(Ar+O₂) : 20%)

Fig. 8 은 O₂/(Ar+O₂) 의 비를 20% 로 고정시키고, 기판온도를 상온에서 500℃ 로 변화시키며 300 nm 두께로 증착시킨 박막의 비저항의 변화를 나타낸

것이다. 상온에서 증착한 박막의 비저항은 $210.4 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 매우 높았다. 기판온도가 상온에서 300°C 까지는 기판온도에 따라 비저항이 급속히 감소하였으나, 300°C 이상의 기판온도에서 부터는 비저항의 감소추세가 완만하였으며 500°C 에서 증착한 박막의 비저항은 $93.7 \mu\Omega\text{-cm}$ 이었다. 이와 같이 기판온도가 증가함에 따라 비저항이 감소하는 것은 박막의 결정성이 향상되었기 때문이라고 생각된다.

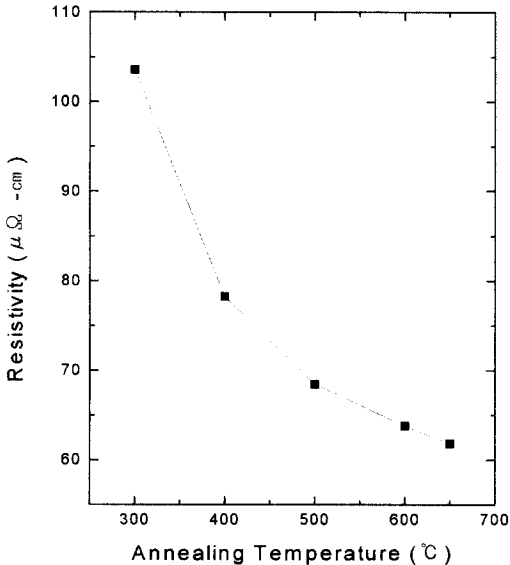


그림 9. Annealing 온도에 따른 RuO_2 박막의 비저항 ($\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$: 20%, 기판온도: 300°C)

Fig. 9. The Resistivity of RuO_2 thin film as a function of annealing temperature ($\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$: 20%, substrate temperature: 300°C)

Fig. 9 는 $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 의 비를 20%, 기판온도를 300°C 로 하여 증착시킨 박막을 분위기 제어 없이 furnace 에서 30분 동안 후열처리 하였을 때 후열처리 온도에 따른 비저항의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 9 에서 보듯이, 300°C 에서 증착한 박막의 비저항은 $103.6 \mu\Omega\text{-cm}$ 이었으나, 650°C 에서 후열처리 한 후 비저항은 $61.8 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 감소하였다. 후열처리 온도가 증가함에 따라, 비저항이 감소하는 것은 박막의 결정성 향상에 기인하는 것으로 생각된다.

IV. 결 론

RF magnetron reactive sputtering 법으로 RuO_2 박막을 제작하여, $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비와 기판온도에 따른

박막의 결정화 특성, 미세구조, 표면거칠기, 전기적 비저항을 조사하였다. XRD 를 이용하여 RuO_2 박막의 결정화 특성을 관찰한 결과, 모든 증착조건에서 RuO_2 단일상이 관찰되었고, $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비가 감소하고 기판온도가 증가함에 따라 (110) 면에서 (101) 면으로 우선배향방향이 변하였다. 이는 adatom 들의 mobility 가 증가하기 때문이다. $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비가 20% 에서 50% 로 증가함에 따라, RuO_2 박막의 표면거칠기는 2.38 nm 에서 7.81 nm 로, 비저항은 $103.6 \mu\Omega\text{-cm}$ 에서 $227 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 증가하는 추세를 나타내었다. 반면에 증착속도는 47 nm/min 에서 17 nm/min 로 감소하였다. 기판온도에 대해서는 상온에서 300°C 로 기판온도가 증가함에 따라 RuO_2 박막의 표면이 치밀해지지만 기판온도가 400°C 이상이 되면 입자성장이 촉진되기 때문에 grain 들의 모양이 뾰족한 형태로 되며 크기도 커지고 표면거칠기도 증가되었다. 그러나, 기판온도가 상온에서 500°C 로 증가함에 따라 RuO_2 박막의 결정성이 향상되어, 비저항은 $210.4 \mu\Omega\text{-cm}$ 에서 $93.7 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 감소하였다. $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 의 비를 20%, 기판온도를 300°C 로 하여 증착시킨 박막을 분위기 제어 없이 furnace 에서 30분 동안 후열처리 하였을 때 후열처리 온도가 400°C 에서 650°C 로 증가함에 따라 비저항은 $78.3 \mu\Omega\text{-cm}$ 에서 $61.8 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 감소하였다.

이상의 결과로부터, $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비 20%, 기판온도 300°C 의 조건에서 증착한 RuO_2 박막이 표면거칠기가 2.38 nm 로 가장 우수하고, 650°C 에서 후열처리 하였을 때 비저항도 $61.8 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 비교적 작아 강유전체 박막의 하부전극으로 사용하기에 가장 적합함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] K. Suu, A. Osawa, N. Tani, M. Ishikawa, K. Nakamura, T. Ozawa, K. Sameshima, A. Kamisawa, and H. Takasu, "Preparation of $(\text{Pb}, \text{La})(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ ferroelectric films by RF sputtering on large substrate", Jpn. J. Appl. Phys., **35**, 9B, pp. 4967~4971 (1996).
- [2] K. Yoshikawa, T. Kimura, H. Noshiro, S. Ohtani, M. Yamada, and Y. Furumura, "RuO₂ thin films as bottom electrodes for

- high dielectric constant materials”, Mat. Res. Soc. Symp. Proc., **343**, pp. 511~516 (1994).
- [3] H. N. Al-shareef, K. D. Gifford, P. D. Hern, S. H. Rou, O. Auciello and A. I. Kingon, “Bottom electrodes for ferroelectric thin films”, Integrated Ferroelectrics., **3**, pp. 321~332 (1993).
- [4] 신웅철, 윤순길, “Hot-wall MOCVD 에 의한 RuO₂ 박막의 특성”, J. Kor. Ceram. Soc., **33**, 9, pp. 969~976 (1996)
- [5] L. Krusin-Elbaum, M. Wittmer, and D. S. Yee, “Characterization of reactively sputtered ruthenium dioxide for very large scale integrated metallization”, Appl. Phys. Lett., **50** (26), pp. 1879~1881 (1987).
- [6] H. Maiwa, N. Ichinose, and K. Okazaki, “Preparation and properties of Ru and RuO₂ thin film electrodes for ferroelectric thin films”, Jpn. J. Appl. Phys., **33**, 9B, pp. 5224~5226 (1994).
- [7] D. P. Vijay and S. B. Desu, “Electrodes for PbZr_xTi_{1-x}O₃ ferroelectric thin films”, J. Electrochem. Soc., **140**, 9, pp. 2640~2645 (1993).
- [8] K. Takemura, T. Sakuma, and Y. Miyasaka, “High dielectric constant (Ba, Sr)/TiO₃ thin films prepared on RuO₂/sapphire”, Appl. Phys. Lett., **64** (22), pp. 2967~2969 (1994).
- [9] K. Sakiyama, S. Onishi, K. Ishihara, K. Orita, T. Kajiyama, N. Hosoda, and T. Hara, “Deposition and properties of reactively sputtered ruthenium dioxide films”, J. Electrochem. Soc., **140**, 3, pp. 834~839 (1993).
- [10] Jeong-gun Lee, Young Tae Kim, Suk-ki Min, Sung Ho Choh, “Effects of oxygen on the properties of reactively sputtered RuO_x thin films”, J. Appl. Phys., **77** (10), pp. 5473~5475 (1995).
- [11] L. Krusin-Elbaum, “Effect of oxygen on the electrical transport in RuO₂”, Thin Solid Films, **169**, pp. 17~24 (1989).

저 자 소 개



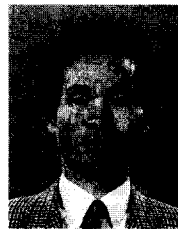
金 東一(正會員)

1933년 5월 6일생. 1962년 2월 서울대학교 물리학과 졸업(B.S.). 1967년 2월 서울대학교 물리학과 졸업(M.S.). 1975년 2월 인하대학교 응용물리학과 졸업(Ph.D.). 1979년 11월 ~ 1980년 11월 미국 Argonne 연구소 연구원. 1969년 2월 ~ 현재, 인하대학교 전자재료공학과 교수. 주관심분야는 Pyroelectric 센서, SAW Device, 압전박막, 초음파



姜 聲俊(正會員)

1965년 7월 10일생. 1989년 2월 인하대학교 응용물리학과 졸업(B.S.). 1994년 8월 인하대학교 전자재료공학과 졸업(M.S.). 1994년 9월 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정. 주관심분야는 DRAM 및 NVFRAM 응용을 위한 강유전체 박막, Pyroelectric 센서



尹 英燮(正會員)

1952년 9월 7일생. 1975년 2월 서울대학교 금속공학과 졸업(B.S.). 1977년 2월 한국과학기술원 재료공학과 졸업(M.S.). 1988년 12월 U.S.C. 전자공학과 졸업(Ph.D.). 1987년 3월 ~ 1988년 5월 Oklahoma State University 대우교수. 1988년 12월 ~ 1989년 6월 UCLA Device Research Lab. 연구원. 1989년 8월 ~ 1992년 2월 삼성전자 기흥반도체연구소 수석연구원. 1996년 4월 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 부교수. 주관심분야는 ULSI DRAM을 위한 신물질 개발, 강유전성 박막, Pyroelectric 센서, SAW Device



張 東勳(正會員)

1971년 3월 13일생. 1995년 2월 수원대학교 전자재료공학과 졸업(B.S.). 1995년 3월 ~ 현재 인하대학교 전자재료공학과 석사과정. 주관심분야는 ULSI DRAM 응용을 위한 강유전체 박막