

---

# RF Sputtering 법으로 제작한 강유전체 메모리의 하부전극용 RuO<sub>2</sub> 박막의 특성에 관한 연구

강성준\*, 정양희\*\*

## Properties of RuO<sub>2</sub> Thin Films for Bottom Electrode in Ferroelectric Memory by Using the RF Sputtering

Seong-Jun Kang, Yang-Hee Joung

### 요약

RF magnetron reactive sputtering 법으로 RuO<sub>2</sub> 박막을 제작하여, O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비와 기판온도에 따른 박막의 결정화 특성, 미세구조, 표면거칠기, 전기적 비저항을 조사하였다. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비가 감소하고 기판온도가 증가함에 따라 RuO<sub>2</sub> 박막은 (110) 면에서 (101) 면으로 우선배향방향이 변하였다. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비가 20% 에서 50% 로 증가함에 따라, RuO<sub>2</sub> 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 나타내는 반면에, 증착속도는 47 nm/min 에서 17 nm/min 로 감소하였다. 기판온도가 상온에서 500 $^{\circ}\text{C}$  로 증가함에 따라 비저항은 210.4  $\mu\Omega\text{-cm}$  에서 93.7  $\mu\Omega\text{-cm}$  로 감소하였고, 표면거칠기는 300 $^{\circ}\text{C}$  에서 증착한 박막이 2.38 nm 로 가장 우수하였다. 열처리 온도가 400 $^{\circ}\text{C}$  에서 650 $^{\circ}\text{C}$  로 증가함에 따라 비저항은 RuO<sub>2</sub> 박막의 결정성 향상으로 인해 감소하였다. 이들 결과로부터 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비 20%, 기판온도 300 $^{\circ}\text{C}$  에서 증착한 RuO<sub>2</sub> 박막의 표면거칠기 및 비저항 특성이 가장 우수하여 강유전체 박막의 하부전극으로 사용하기에 적합함을 알 수 있었다.

### Abstract

RuO<sub>2</sub> thin films are prepared by RF magnetron reactive sputtering and their characteristics of crystallization,

---

\* 여수대학교 반도체 응용물리학과 전임강사

\*\* 인하대학교 전기 및 반도체공학과 조교수

microstructure, surface roughness and resistivity are studied with various  $O_2/(Ar+O_2)$  ratios and substrate temperatures. As  $O_2/(Ar+O_2)$  ratio decreases and substrate temperature increases, the preferred growing plane of  $RuO_2$  thin films are changed from (110) to (101) plane. With increase of the  $O_2/(Ar+O_2)$  ratio from 20 % to 50 %, the surface roughness and the resistivity of  $RuO_2$  thin films increase from 2.38 nm to 7.81 nm, and from  $103.6 \mu\Omega\text{-cm}$  to  $227 \mu\Omega\text{-cm}$ , 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  $500^\circ\text{C}$ , resistivity decreases from  $210.5 \mu\Omega\text{-cm}$  to  $93.7 \mu\Omega\text{-cm}$ .  $RuO_2$  thin film deposited at  $300^\circ\text{C}$  shows a excellent surface roughness of 2.38 nm. As the annealing temperature increases in the range between  $400^\circ\text{C}$  and  $650^\circ\text{C}$ , the resistivity decreases because of the improvement of crystallinity. We find that  $RuO_2$  thin film deposited at 20 % of  $O_2/(Ar+O_2)$  ratio and  $300^\circ\text{C}$  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.

## I. 서론

반도체 산업의 급속한 발전에 따라, 우수한 전기적 특성을 갖는 강유전체 박막들을 ULSI DRAM 과 NVFRAM (Non-Volatile 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 전극 물질의 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 ( $RuO_2$ ) 는 tetragonal rutile 구조 ( $a = 4.4906 \text{ \AA}$ ,  $c = 3.1064 \text{ \AA}$ ) 를 갖는 천이 금속 산화물로서 열적으로 안정하며 내부식성이 우수하다. 또 bulk 상태의 비저항이  $35.2 \mu\Omega\text{-cm}$  로 우수한 전기전도도를 나타내며, 산소와 silicon 에 대한 뛰어난 확산방지특성을 나타내기 때문에 강유전체의 하부전극으로 이용하기

에 적합하다[5]. 특히  $RuO_2$  를 FRAM 의 하부전극으로 이용하면 Pt 전극을 사용한 것에 비하여 매우 향상된 fatigue 특성을 나타내므로 FRAM 의 하부전극으로 주목받고 있다[6-8].  $RuO_2$  박막을 강유전체의 하부전극으로 이용하기 위해서 위에 언급한 우수한 전기전도도, 확산방지 특성 이외에도 표면거칠기 (surface roughness) 를 고려해야한다. 강유전체 박막의 누설전류 및 절연과피 특성은 하부전극의 표면거칠기에 의해 상당히 큰 영향을 받기 때문에 매우 중요하다 이에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 RF magnetron reactive sputtering 법을 이용하여  $RuO_2$  박막의 제작시, 산소농도 및 기판 온도가  $RuO_2$  박막의 미세구조, 결정성, 비저항과 특히 미세구조와 관련하여 표면거칠기에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 바탕으로 우수한 특성의  $RuO_2$  박막 제작을 위한 증착조건을 확립하고자 하였다.

## II. 실험방법

본 연구에서는 RF magnetron reactive sputtering 법을 이용하여  $RuO_2$  박막을 제작하였다. 실험에 사용된 RF magnetron sputtering 장치는 Fig. 1 에 나타낸 것과 같이 target 을 하부에 위치시키고 기판을 상부에 장착하도록 설계된 상향식이다.

$RuO_2$  박막증착에 사용된 target 은 Ru metal (순도: 99.9%) 이고, 기판은  $SiO_2$  ( $1200 \text{ \AA}$ ) / 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 N<sub>2</sub> gas 를 사용하여 기판을 건조시켰다. Ar 과 O<sub>2</sub> 혼합비를 mass flow controller (MFC) 로 조절하여 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비를 20, 30, 40, 50% 로 변화시켰다. 증착에 사용된 RF power 는 125W 이고, 기판온도는 기판을 가열하지 않은 경우에서부터 200, 300, 400, 500℃ 까지 변화시켰다. 박막을 증착시키기 전의 초기 진공도는 3×10<sup>-6</sup> torr 이하로 유지시켰으며, 작업 압력은 2×10<sup>-3</sup> torr 로 일정하게 유지시켰다. 그 후, 원하는 증착조건에서 플라즈마의 안정을 위해 10분간 presputtering 한 다음 RuO<sub>2</sub> 박막을 증착시켰다. RuO<sub>2</sub> 박막의 증착조건을 table 1 에 요약해서 나타내었다. 증착된 RuO<sub>2</sub> 박막을 분위기 제어 없이 furnace 에서 후열처리하여 후열처리 온도에 따른 특성 변화도 조사하였다.

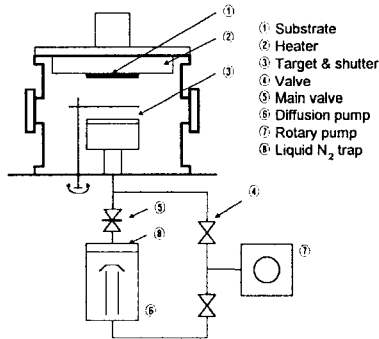


그림 1. RuO<sub>2</sub> 박막 제작을 위한 RF magnetron sputter 장비의 개략도

Fig 1. The schematic diagram of the RF magnetron sputter system for RuO<sub>2</sub> thin film

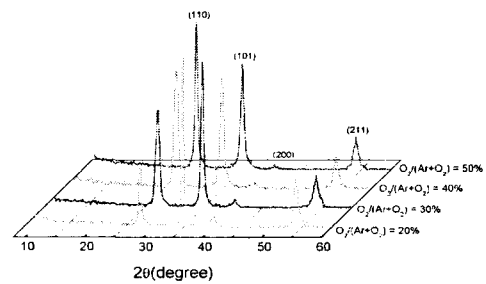
Table 1. Typical sputtering conditions for RuO<sub>2</sub> thin films  
표 1. RuO<sub>2</sub> 박막의 sputtering 조건

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

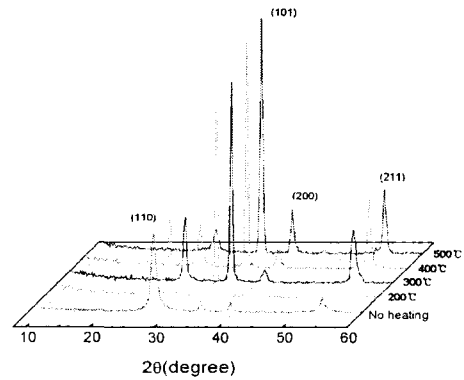
RuO<sub>2</sub> 박막의 결정화 특성은 X-Ray Diffractometer (PHILIPS PW 3020, CuK α) 를 이용하여 분석하였고, 미세구조는 SEM 을 이용하여 관찰하였다. RuO<sub>2</sub> 박막의 두께는 α-step surface profilometer 와 SEM 을 이용하여 구하였고, 박막의 표면거칠기는 AFM 을 이용하여 관찰하였다. 비저항은 Four-point probe 를 이용하여 측정된 면저항에 RuO<sub>2</sub> 박막의 두께를 곱하여 구하였다.

### III. 실험결과 및 논의

RuO<sub>2</sub> 박막의 배향성과 결정성을 조사하기 위해 박막용 XRD 를 사용하였다.



(a)



(b)

그림 2. RuO<sub>2</sub> 박막의 XRD pattern : (a) O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비 변화, (b) 기판온도 변화

Fig. 2. XRD patterns of RuO<sub>2</sub> thin films with various parameters

: (a) O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) ratio, (b) substrate temperature

Fig. 2 (a) 는 기판온도를 300℃ 로 고정시키고 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비를 20, 30, 40, 50% 로 변화시키며 증착시킨 박막의 XRD pattern 이고, Fig. 2 (b) 는 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비를 20% 로 고정시키고, 기판온도를 상온, 200, 300, 400, 500℃ 로 변화시키며 증착시킨 박막의 XRD pattern 이다. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비와 기판온도에 따라 RuO<sub>2</sub> 박막의 우선배향성이 변하는 것을 볼 수 있는데, 이는 adatom 들의 mobility 에 기인하는 것이다. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비가 감소하면 플라즈마를 구성하는 기체중에서 질량이 큰 아르곤의 양이 증가하여 target 으로 부터 sputtering 되어 기판에 도달하는 입자의 에너지가 높아지므로 기판상의 adatom 들의 mobility 가 증가하게 된다. 또, 기판온도가 증가해도 열에너지로 인한 기판상의 adatom 들의 mobility 가 증가하게 된다. 따라서, adatom 들의 mobility 가 증가하면, RuO<sub>2</sub> 박막의 우선배향 방향이 random 한 방향인 (110) 면에서, 보다 안정한 (101) 면으로 변하게 된다.

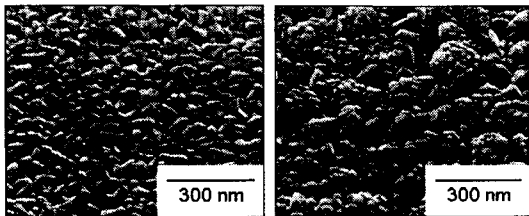


그림 3. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비의 변화에 따라 증착된 RuO<sub>2</sub> 박막의 SEM 사진 : (a) 20%, (b) 50% (기판온도 : 300℃)

Fig. 3. SEM micrographs of RuO<sub>2</sub> thin film deposited with various O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) ratio : (a) 20% and (b) 50%, (substrate temperature : 300℃)

Fig. 3 은 기판온도를 300℃로 고정시키고 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비를 20% 에서 50% 로 변화시키며 증착시킨 박막의 SEM 사진을 나타낸 것이다. Fig. 2 에서 보듯이, O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비가 20% 일 때, 박막의 grain size 는 약 300~500 Å 이고 치밀도도 비교적 우수한 반면에 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비가 50% 로 증가하면 박막의 grain size 는 약 1000~1200 Å 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 산소량이 증가함에 따라 grain size 가 증가하는 결과는 K. Sakiyama 등[9]과 J. G. Lee 등[10]이 보고한 내용과 일치한다.

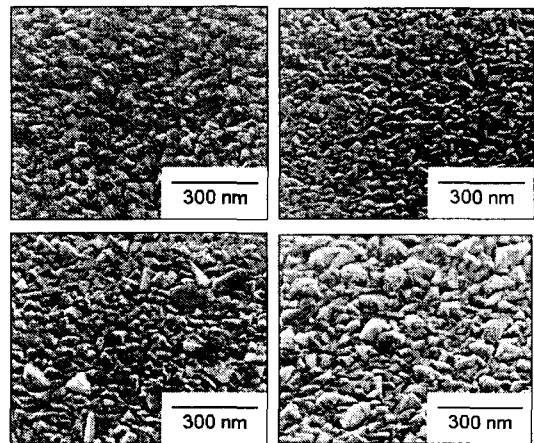


그림 4. 기판온도에 따른 RuO<sub>2</sub> 박막의 SEM 사진, (O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) : 20%) : (a) 상온, (b) 200℃, (c) 400℃ and (d) 500℃

Fig. 4. SEM micrographs of RuO<sub>2</sub> thin film deposited with various substrate temperature : (a) No heating, (b) 200℃, (c) 400℃, and (d) 500℃, (O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) ratio : 20%)

Fig. 4 는 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비를 20% 로 고정시키고, 기판온도를 상온에서 500℃ 로 변화시키며 증착시킨 박막의 SEM 사진이다. Fig. 4 에서 보듯이 기판온도가 증가함에 따라 박막의 표면 morphology 가 변화됨을 알 수 있다. 기판온도가 상온에서 300℃ 로 증가함에 따라 박막의 표면이 치밀해지는 것을 볼 수 있다. 그러나 기판온도가 400℃ 이상이 되면 grain 들의 모양이 뾰족한 형태로 되며 크기도 커져 표면거칠기가 불량해진다. 이는 400℃ 이상의 기판온도에서는 높은 열에너지로 인해 adatom 들의 mobility 가 높아져 이들이 열역학적으로 안정한 자리를 찾아갈 가능성이 커진다. 따라서 핵생성은 억제

되는 반면에 입자성장이 촉진되기 때문이다.

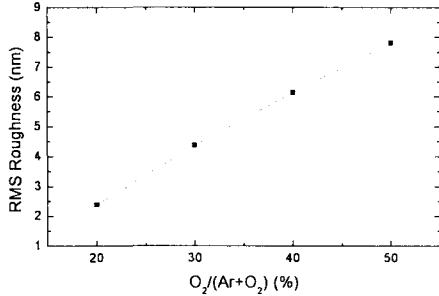


그림 5. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비에 따른 RuO<sub>2</sub> 박막의 표면거칠기 (기판온도 : 300℃)

Fig 5. RMS roughness of RuO<sub>2</sub> thin film deposited with various O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) ratio (substrate temperature : 300℃)

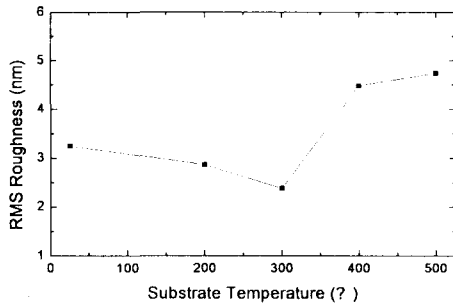


그림 6. 기판온도에 따른 RuO<sub>2</sub> 박막의 표면거칠기 (O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) : 20%)

Fig 6. RMS roughness of RuO<sub>2</sub> thin film deposited with various substrate temperature

RuO<sub>2</sub> 박막을 강유전체 박막의 하부전극으로 사용하기 위해서는 RuO<sub>2</sub> 박막의 표면거칠기가 매우 중요한 요소이다. 하부전극의 표면거칠기가 크면, 하부전극위에 증착되는 박막이 전 영역에 걸쳐 균일한 특성을 확보하기 어렵게 된다. 또, RuO<sub>2</sub> 박막을 실제 강유전체 박막의 하부전극으로 응용시, 상부에 증착되는 강유전체 박막의 두께가 매우 얇기 때문에 누설전류 및 절연과피 특성에 악영향을

미친다. Fig. 5 는 기판온도를 300℃ 로 고정시키고 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비를 20, 30, 40, 50% 로 변화시키며 증착시킨 박막의 표면거칠기를 AFM 으로 조사한 결과를 나타낸 것이다. Fig. 5 에서 보듯이, O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 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, O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비에 따른 grain size 의 증가가 박막의 표면거칠기에 직접적인 영향을 미친 결과라고 생각된다. 특히 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비가 20% 에서 증착된 박막의 표면거칠기 (2.38 nm) 는 기존의 논문[10]에 보고된 결과에 비해서 우수한 결과이다.

Fig. 6 은 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 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.

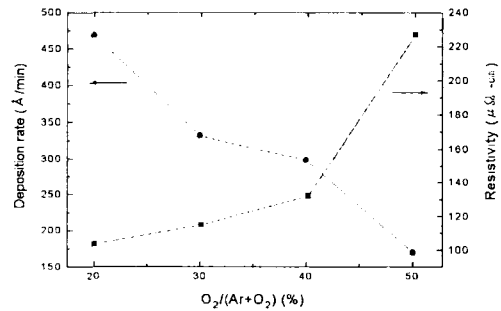


그림 7. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비에 따른 RuO<sub>2</sub> 박막의 증착률과 비저항 (기판온도 : 300℃)

Fig. 7. Deposition rate and resistivity of RuO<sub>2</sub> thin films with various O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) ratio (substrate temperature : 300℃)

Fig. 7 에 기판온도를 300℃ 로 고정시키고 O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비를 20 에서 50% 로 변화시키며 증착시킨 박막의 비저항과 증착속도를 나타내었다. 증착속

도는  $O_2/(Ar+O_2)$  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. RuO<sub>2</sub> 박막의 비저항은  $O_2/(Ar+O_2)$  의 비가 20% 에서 50% 로 증가함에 따라 103.6  $\mu\Omega\text{-cm}$  에서 227  $\mu\Omega\text{-cm}$  으로 증가하였다. 이에 대한 원인은 크게 두 가지로 생각되는데, 첫째는  $O_2/(Ar+O_2)$  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  $O_2/(Ar+O_2)$  의 비가 증가함에 따라 박막의 치밀도가 떨어지기 때문으로 생각된다.

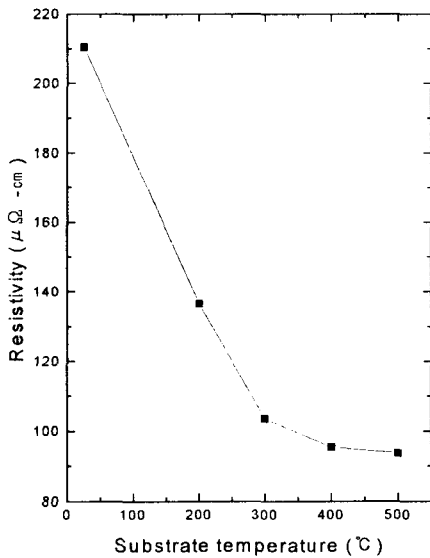


그림 8. 기판온도에 따른 RuO<sub>2</sub> 박막의 비저항 ( $O_2/(Ar+O_2)$  : 20%)

Fig 8. Resistivity of RuO<sub>2</sub> thin films with various substrate temperature ( $O_2/(Ar+O_2)$  : 20%)

Fig. 8 은  $O_2/(Ar+O_2)$  의 비를 20% 로 고정시키고, 기판온도를 상온에서 500 $^{\circ}\text{C}$  로 변화시키며 300 nm 두께로 증착시킨 박막의 비저항의 변화를 나타

낸 것이다. 상온에서 증착한 박막의 비저항은 210.4  $\mu\Omega\text{-cm}$  로 매우 높았다. 기판온도가 상온에서 30 $^{\circ}\text{C}$  까지는 기판온도에 따라 비저항이 급속히 감소하였으나, 300 $^{\circ}\text{C}$  이상의 기판온도에서 부터는 비저항의 감소추세가 완만하였으며 500 $^{\circ}\text{C}$  에서 증착한 박막의 비저항은 93.7  $\mu\Omega\text{-cm}$  이었다. 이와 같이 기판온도가 증가함에 따라 비저항이 감소하는 것은 박막의 결정성이 향상되었기 때문이라고 생각된다.

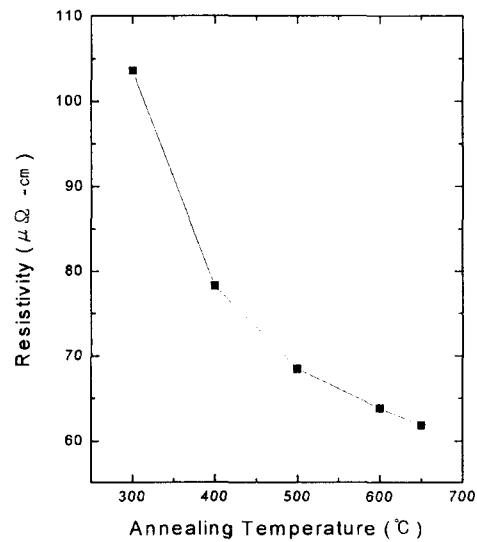


그림 9. Annealing 온도에 따른 RuO<sub>2</sub> 박막의 비저항 ( $O_2/(Ar+O_2)$  : 20%, 기판온도 : 300 $^{\circ}\text{C}$ )

Fig 9. Resistivity of RuO<sub>2</sub> thin films with various annealing temperature ( $O_2/(Ar+O_2)$  : 20%, substrate temperature : 300 $^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 9 는  $O_2/(Ar+O_2)$  의 비를 20%, 기판온도를 300 $^{\circ}\text{C}$  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 $^{\circ}\text{C}$  에서 증착한 박막의 비저항은 103.6  $\mu\Omega\text{-cm}$  이었으나, 650 $^{\circ}\text{C}$  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. 결론

RF magnetron reactive sputtering 법으로 RuO<sub>2</sub> 박막을 제작하여, O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비와 기판온도에 따른 박막의 결정화 특성, 미세구조, 표면거칠기, 전기적 비저항을 조사하였다. XRD 를 이용하여 RuO<sub>2</sub> 박막의 결정화 특성을 관찰한 결과, 모든 증착조건에서 RuO<sub>2</sub> 단일상이 관찰되었고, O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비가 감소하고 기판온도가 증가함에 따라 (110) 면에서 (101) 면으로 우선배향방향이 변하였다. 이는 adatom 들의 mobility 가 증가하기 때문이다. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비가 20% 에서 50% 로 증가함에 따라, RuO<sub>2</sub> 박막의 표면거칠기는 2.38 nm 에서 7.81 nm 로, 비저항은 103.6 μΩ-cm 에서 227 μΩ-cm 로 증가하는 추세를 나타내었다. 반면에 증착속도는 47 nm/min 에서 17 nm/min 로 감소하였다. 기판온도에 대해서는 상온에서 300℃ 로 기판온도가 증가함에 따라 RuO<sub>2</sub> 박막의 표면이 치밀해지지만 기판온도가 400℃ 이상이 되면 입자성장이 촉진되기 때문에 grain 들의 모양이 뾰족한 형태로 되며 크기도 커지고 표면거칠기도 증가되었다. 그러나, 기판온도가 상온에서 500℃ 로 증가함에 따라 RuO<sub>2</sub> 박막의 결정성이 향상되어, 비저항은 210.4 μΩ-cm 에서 93.7 μΩ-cm 로 감소하였다. O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 의 비를 20%, 기판온도를 300℃ 로 하여 증착시킨 박막을 분위기 제어 없이 furnace 에서 30분 동안 후열처리 하였을 때 후열처리 온도가 400℃ 에서 650℃ 로 증가함에 따라 비저항은 78.3 μΩ-cm 에서 61.8 μΩ-cm 로 감소하였다.

이상의 결과로부터, O<sub>2</sub>/(Ar+O<sub>2</sub>) 비 20%, 기판온도 300℃ 의 조건에서 증착한 RuO<sub>2</sub> 박막이 표면거칠기가 2.38 nm 로 가장 우수하고, 650℃ 에서 후열처리 하였을 때 비저항도 61.8 μΩ-cm 로 비교적 작아 강유전체 박막의 하부전극으로 사용하기에 가장 적합함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부, 한국과학재단 지정 설비 자동화 및 정보시스템 연구개발 센터에 의해 지원되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] K. Suu, A. Osawa, N. Tani, M. Ishikawa, K. Nakamura, T. Ozawa, K. Sameshima, A. Kamisawa, and H. Takasu, "Preparation of (Pb,La)(Zr,Ti)O<sub>3</sub> 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, "RuO<sub>2</sub> 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 RuO<sub>2</sub> 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 RuO<sub>2</sub> 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 PbZrxTi1-xO<sub>3</sub> 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)TiO<sub>3</sub> thin films prepared on RuO<sub>2</sub>/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 RuOx thin films", J. Appl. Phys., 77 (10), pp. 5473~5475 (1995)
- [11] L. Krusin-Elbaum, "Effect of oxygen on the electrical transport in RuO<sub>2</sub>", Thin Solid Films, 169, pp. 17~24 (1989)



강성준(姜聲俊)  
1989년 2월, 인하대학교 응용물리  
학과 졸업(B.S.)  
1994년 8월, 인하대학교 전자재료  
공학과 졸업 (M.S.)  
1999년 2월, 인하대학교 전자재료  
공학과 졸업 (Ph. D.)

※ 주관심 분야 : ULSI DRAM 응용을 위한 강유전  
체 박막, 차세대 비휘발성 메모리(NVFRAM  
및 MFSFET), Pyroelectric 센서



정양희(鄭陽喜)  
1983년 2월 단국대학교 응용물리  
학과 졸업(공학사)  
1985년 8월 인하대학교 응용물리  
학과 졸업(공학석사)  
1993년 8월 인하대학교 전자재료  
공학과 졸업(공학박사)

1988-1995년 LG반도체 선임연구원

1995-현재 여수대학교 전기공학과 조교수

※ 관심분야 : 반도체 재료 및 공정, 강유전체 박막