

Rf 마그네트론 반응성 스퍼터링법에 의해 증착된 RuO₂ 박막의 특성분석

조호진 · 홍석경 · 조해석 · 양홍근* · 김형준

서울대학교 공과대학 무기재료공학과
*삼성전자 반도체 특수사업부 기술개발팀

Characterization of RuO₂ Thin Films Deposited by Rf Magnetron Reactive Sputtering

H.J. Cho, S.K. Hong, H.S. Cho, H.G. Yang*, H.J. Kim

Dept. of Inorg. Mat. Eng., Seoul National University, Seoul 151-742

*Technical Development Team, Semiconductor Business, Samsung Electronics Co.,

Nongseo-Lee, Kiheung-Eup, Yongin-Gun, Kungki-Do 449-900

초 록 Rf 마그네트론 반응성 스퍼터링법을 이용하여 Si, SiO₂/Si 기판위에 전도성 RuO₂ 박막을 증착하고, 공정변수가 증착되는 박막의 특성에 미치는 영향을 고찰하였다. 대부분의 증착조건에서 주상정 구조의 단일상 RuO₂ 박막이 증착되었으며, 부착원자들의 표면이동도가 낮은 영역에서는 (101) 우선배향성이 관찰되었고, 높은 영역에서는 (200) 우선배향성이 관찰되었다. 증착조건에 따른 박막의 우선배향성 변화는 박막의 결정구조와 연관지어 논의되었다. 기판온도 350°C에서 증착된 박막은 치밀하고 표면이 평탄하며, 비저항이 90 μΩ-cm 정도로 낮아서 고유전율 박막의 전극물질로 이용하기에 적합하였다. 450°C 이상의 기판온도에서 증착된 박막은 46 μΩ-cm 정도로 매우 낮은 비저항을 갖지만 표면이 거칠었다.

Abstract Conducting RuO₂ thin films were deposited on Si, SiO₂/Si substrates by rf-magnetron reactive sputtering using Ru target, and effects of deposition parameters on the physical properties of the thin films were investigated. Most of the films deposited at various deposition conditions were single-phase RuO₂ with columnar microstructure. These films deposited at the condition of a low adatom mobility showed the (101) preferred orientation, while those at high adatom mobility had the (200) preferred orientation. Such a change in preferred orientation was discussed with respect to crystallographic structure of RuO₂ films. Since RuO₂ thin films deposited at 350°C had a dense, smooth surface and a resistivity of 90 μΩ-cm, they could be applicable to bottom electrodes of high dielectric materials. RuO₂ thin films deposited at 450°C had a lower resistivity of 46 μΩ-cm but showed a rougher surface.

1. 서 론

RuO₂는 tetragonal rutile 구조를 갖는 천연 금속 산화물로서 비저항이 낮으며 열적으로 안정하고 내부식성이 우수하다¹⁾. RuO₂ 박막은 증착방법이나 증착조건에 따라 달라지지만 40~100 μΩ-cm 정도로 매우 낮은 비저항을 보이고 넓은 온도범위에서 금속성의 전기전도 특성을 나타내며 우수한 확산방지 특성을 보이는 것으로 알려져 있다¹⁻³⁾. 이런 이유로 RuO₂ 박막을 VLSI 소자에서 금속공정³⁾ 및 확산장벽^{4,5)}, DRAM, NVRAM에 이용될 PZT, BST 등과 같은 고유전율 재료의 전극물질로 사용하려는 연구가 활발하다^{6,8)}.

현재 고유전율 재료의 전극물질로 가장 많이 이용되고 있는 Pt은 스퍼터링 증착과정에서 생성되는 압축 응력과 고온에서 고유전율 박막 증착시 발생하는 열 응력에 의해 hillock이 쉽게 형성되어 단락이 되므로 소자 제조시 신뢰성이라는 측면에서 큰 약점을 가지고 있다. 또한, Pt은 화학적으로 매우 안정한 물질이어서 패턴을 형성하기 위한 식각공정이 쉽지 않다.

고유전율 재료의 전극으로 Pt 대신 RuO₂ 박막을 사용하면 hillock 형성에 의한 단락과 식각의 어려움을 해결할 수 있으며⁹⁾, 특히 NVRAM의 강유전체 캐패시터의 피로특성이 매우 향상되는 것으로 알려져 있다. 이러한

장점을 가지는 RuO₂를 고유전율 재료의 하부 전극 재료로 이용되기 위해서는 낮은 비저항, 산소와 실리콘에 대한 뛰어난 확산방지 특성, 평활한 표면, 우수한 부착성을 가져야할 뿐만 아니라, 기존의 ULSI 공정에 적용가능하고 고유전율 재료와 반응하지 않아야 한다¹⁰⁾. 그러나, 현재까지 RuO₂ 박막의 증착조건에 따른 결정성, 미세구조, 비저항 등에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서, 우수한 물성을 가지는 고유전율 박막을 제조하기 위해서는 하부전극물질인 RuO₂ 박막에 대한 연구가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 rf 마그네트론 반응성 스퍼터링법에 의한 RuO₂ 박막 증착시에 rf 인가 전력, 기판온도, O₂/(Ar+O₂)비 등의 공정 변수가 RuO₂ 박막의 결정성, 배향성, 미세구조, 비저항 등에 미치는 영향을 고찰함으로써 그 증착기구를 규명하고자 하였다.

2. 실험 방법

RuO₂ 박막은 rf 마그네트론 반응성 스퍼터링법으로 증착하였다. 사용한 타겟트는 3" 직경에 99.9% 순도의 Ru 금속(Cerac Co.)이고 기판지대대의 회전축에 대해서 약 30° 정도 기울어져 있다. Ar과 O₂ 가스의 혼합비를 조절하여 O₂/(Ar+O₂)비를 30, 40, 50%로 변화시켰으며 전체 증착압력은 5mTorr로 고정하였다. 증착에 사용된 rf 전력은 75~150W 범위였다. 기판과 타겟트와의 거리는 11cm이고, 기판은 20 rpm 속도로 회전시켰으며 할로겐 램프를 이용하여 기판 뒤쪽에서 가열하였다. 기판온도는 기판을 가열하지 않은 경우에서부터 550°C 까지 변화시켰다. 박막을 입히기 전 반응기의 초기진공도가 5×10⁻⁷ Torr 이하가 되면 가스를 주입하여 증착조건과 같은 조건에서 10분간 presputtering 하였다. Si(100)과 SiO₂(2000 Å)/Si(100)을 기판으로 사용하였으며 Si의 경우는 박막을 입히기 바로 전에 회색시킨 불산용액(H₂O:HF=10:1)에 담가 기판 표면에 있는 자연산화막을 제거한 후 탈이온화수로 세정하고 질소가스를 불어 건조시킨 다음 바로 스퍼터링 반응기에 넣었다. SiO₂(2000 Å)/Si은 아세톤과 알코올로 초음파 세척 후 탈이온 화수로 세정한 다음 질소가스로 건조시켰다. 대표적인 증착조건은 Table 1.에

나타내었다.

증착한 박막의 결정구조는 Cu Kα선을 사용하는 XRD (Rigaku Co.)를 사용하여 분석하였으며 증착된 박막의 두께 및 미세구조는 SEM을 이용하여 관찰하였다. 증착된 박막의 열처리에는 급속 열처리기(RTP)를 이용하여 질소분위기에서 10분간 하였다. Four-point probe를 이용하여 면저항을 측정하고 박막의 두께를 곱하여 RuO₂ 박막의 비저항을 구하였다.

Table 1. Typical sputtering condition for RuO₂ films

Target	Ru (99.9%)
Substrate	Si, SiO ₂ (2000 Å)/Si
Substrate Temp. (°C)	RT, ~550°C
Base Pressure	< 5×10 ⁻⁷ Torr
Sputtering Pressure	5 mTorr
Sputtering gas (O ₂ /Ar+O ₂)	30, 40, 50% O ₂
RF power	75~150 W
Target-substrate distance	11 cm

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 O₂/(Ar+O₂)비가 30%이고, rf 인가전력이 125W일 때 기판온도를 변화시키면서 Si 기판위에 증착한 RuO₂ 박막의 XRD 회절 패턴이다. 금속 Ru의 회절선은 나타나지 않고 RuO₂에 의한 회절선만이 관찰되는 것으로 보아 단일상의 RuO₂박막이 증착된 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 SiO₂/Si 기판에서도 마찬가지로 관찰되었으며 공정조건에 따른 박막의 우선배향성 변화 또한 Si 및 SiO₂/Si 기판 종류에 관계없이 유사한 경향을 보였다. 상온에서 증착한 박막의 경우에도 어느 정도 결정화가 이루어져 강도는 매우 낮지만 RuO₂의 (101) 회절선이 나타나기 시작하고, 기판온도가 350°C 이상으로 높아지면 결정성이 향상되어 회절선의 강도가 증가하였다. 기판온도가 350°C인 경우에는 강한 (101) 회절선과 약한 (110), (211) 회절선이 함께 나타나지만 기판온도가 450°C로 증가하면 (200) 방향으로 우선배향성이 변화하였다. 이와같은 기판온도 증가에 따르는 박막의 우선배향성의 변화는 부착원자들의 표면이동도(adatom mobility) 변화에 그 주요 원인이 있는 것으로

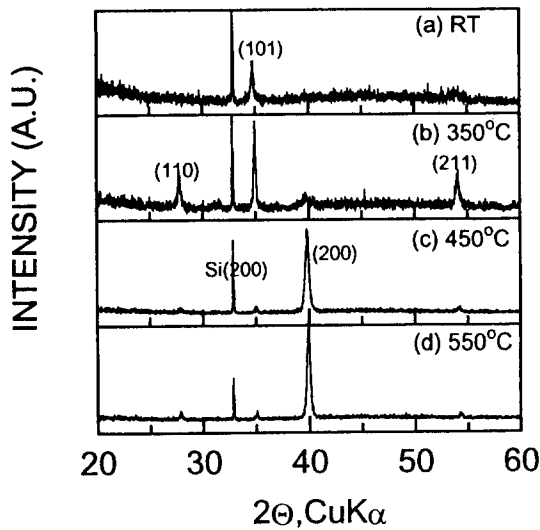


Fig. 1 XRD patterns of RuO₂ films deposited on Si at 5 mTorr, 125W and 30% O₂ in the variation of substrate temperatures: (a) RT., (b) 350°C, (c) 450°C and (d) 550°C.

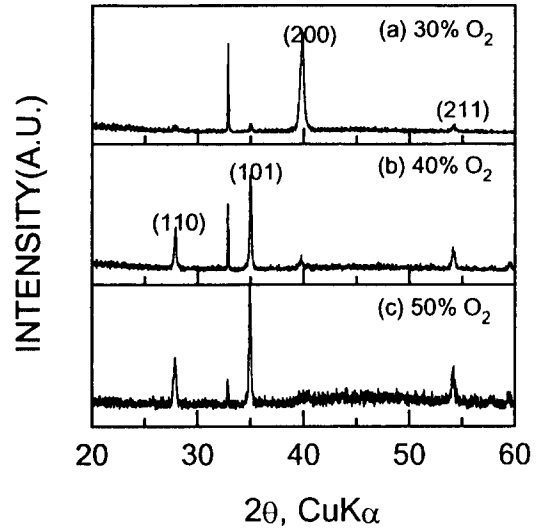


Fig. 3 XRD patterns of RuO₂ films deposited on Si at 5 mTorr, 125W and 450°C, in the variation of oxygen concentrations: (a) 30% O₂, (b) 40% O₂ and (c) 50% O₂.

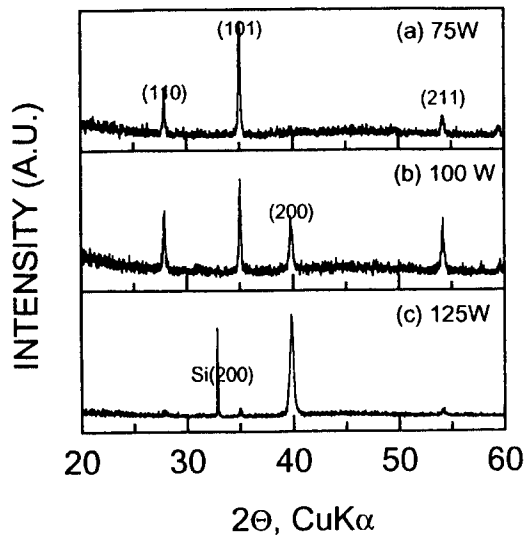


Fig. 2 XRD patterns of RuO₂ films deposited on Si at 5 mTorr, 30% O₂ and 350°C, in the variation of rf powers: (a) 75W (b) 100W and (c) 125W.

생각된다. 즉, 낮은 기판온도에서는 (101)이나 (110) 우선배향성이 지배적인 반면에 기판온도가 높아져 부착원자들의 표면이동도가 커지면 (200) 우선배향성이 지배적이게 된다. 이러한 현상은 rf 인가전력을 변화시켜 부착

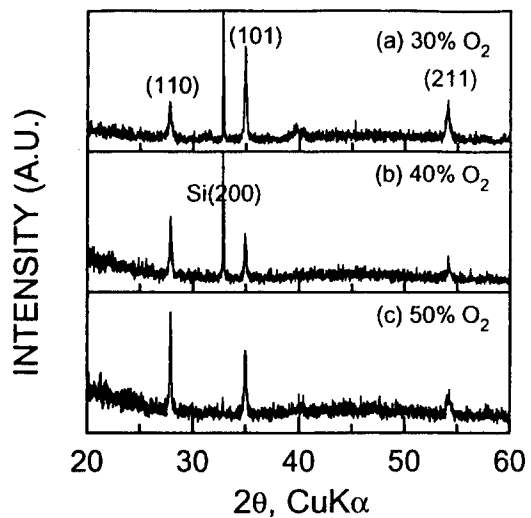


Fig. 4 XRD patterns of RuO₂ films deposited on Si at 5 mTorr, 125W and 350°C, in the variation of oxygen concentrations: (a) 30% O₂, (b) 40% O₂ and (c) 50% O₂.

원자들의 표면이동도를 변화시키는 경우에도 마찬가지로 관찰되었다.

Fig. 2는 기판온도 350°C, O₂/(Ar+O₂)비가 30%일 때 rf 인가전력 변화에 따른 XRD 회

절 패턴이다. Rf 인가전력이 75W에서는 (101) 및 (110) 회절선이 강하게 나타나지만 100W로 증가하면 (200) 회절선이 생성되기 시작하고 125W로 증가하면 (200) 우선배향성으로 변한다. 일반적으로 rf 인가전력이 높아지면 타겟에 충돌하는 아르곤 입자들의 운동에너지가 증가하므로 박막의 성장속도가 증가하고, 타겟으로부터 스퍼터링되어 기판에 도달하는 물질 입자들과 타겟으로부터 반사되어 기판에 충돌하는 아르곤 입자들의 에너지 또한 증가하므로 기판상에서 부착원자들의 표면이동도는 증가하게 된다.

플라즈마를 구성하는 기체 원소중에서 질량이 작은 산소의 양을 증가시키면 질량이 큰 아르곤의 양이 상대적으로 감소하게 되는데, 이로 인해 타겟으로부터 반사되어 기판에 충돌하는 입자들의 평균에너지가 낮아지므로 기판상에서 부착원자들의 표면이동도도 낮아질 것으로 생각된다. 따라서 플라즈마를 구성하는 산소분압의 변화에 의해서도 증착되는 RuO₂ 박막의 우선배향성이 변할 수 있을 것으로 추측되는데 그 결과는 Fig. 3과 Fig. 4에 잘 나타난다. Fig. 3은 rf 인가전력이 125W이고, 기판온도가 450℃인 조건에서 O₂/(Ar+O₂)비를 변화시키면서 증착한 RuO₂ 박막의 XRD 회절 패턴으로서 산소분압이 박막의 우선배향성에 미치는 영향을 잘 나타낸다. O₂/(Ar+O₂)비가 30%일 때에는 (200) 우선배향성을 보이지만 O₂/(Ar+O₂)비가 40, 50%로 증가함에 따라 (101) 방향으로 배향성이 변하면서 약한 (110), (211) 회절선도 함께 나타난다.

Fig. 4는 Fig. 3과 같은 조건에서 기판온도를 350℃로 낮게한 경우에 증착된 RuO₂ 박막의 XRD 회절패턴으로써 낮은 기판온도와 높은 산소분압으로 인해 부착원자들의 표면이동도가 매우 낮은 조건에서 증착되는 RuO₂ 박막의 우선배향성 변화를 보여준다. 기판온도 450℃와는 달리 O₂/(Ar+O₂)비가 30%일 때 (200) 우선배향성은 나타나지 않고 (101) 회절선의 강도가 강하지만, O₂/(Ar+O₂)비가 높아짐에 따라 (101) 회절선의 강도보다 (110) 회절선의 강도가 커졌다. JCPDS CARD No. 21-1172에 해당하는 우선배향성을 가지지 않는 시편에서 (110) 회절선이 가장 높은 강도를 가진다는 사실로 미루어 볼 때, Fig. 4(c)

박막은 무질서한 배향성을 가지는 것으로 생각된다.

본 연구에서 관찰된 증착조건에 따른 우선배향성의 변화가 사용된 Si 및 SiO₂/Si 기판 종류에 큰 의존성을 보이지 않는다는 사실은 본 연구에서 증착된 RuO₂ 박막의 우선배향성이 기판과 박막과의 격자일치에 의해 지배되지 않고 증착조건에 의해서 더 크게 지배됨을 암시한다. 본 연구에서 증착된 박막들이 매우 낮은 에너지 영역에서는 무질서한 배향성을 보이지만, 부착원자들의 이동도가 증가함에 따라 그 우선배향성이 (101) 및 (200)으로 변화해가는 현상은 RuO₂의 결정구조와 연관 지어 설명할 수 있다. RuO₂는 rutile구조를 가지며 단위포내 각 면들에 대한 원자들의 충전 밀도는 Table. 2와 같다. 여기서 주목할 만한 사실은, 본 연구의 결과에서 관찰되는 (101)이나 (200) 우선배향성에 해당하는 (101)면이나 (200)면의 기저면이 단일 원자로 이루어진 층(layer)을 이루고 있다는 것이다. Rutile 구조 단위포내의 여러면들 중에서 최밀충진면은 (110)면이지만 (110) 배향성은 앞서 관찰한 바와 같이 매우 낮은 에너지 영역에서 증착된 박막에서만 관찰되었고, 또한 Fig. 4(c)가 JCPDS CARD의 무질서한 배향성을 보이는 시료와 유사한 강도분포를 보이고 있으므로 낮은 에너지 영역에서 증착된 박막들이 (110) 우선배향성을 띠고 있다고 볼 수는 없다. 따라서, 본 연구에서 증착되는 RuO₂ 박막들은 성장시에 Ru층과 산소층이 번갈아 가면서 적층되려는 경향을 강하게 가짐으로써 (101)과 (200) 우선배향성이 나타나게 되는 것으로 생각된다.

낮은 에너지 영역에서 증착되는 대부분의

Table 2. The atomic densities of Ru and O atoms on a basal lattice plane of RuO₂ structure.

crystal plane	atomic density of Ru(Å ⁻²)	atomic density of O(Å ⁻²)
(110)	0.0936	0.0936
(101)	0.0739	0
(211)	0.0493	0.0493
(200)	0.0662	0
(002)	0.0445	0.0891

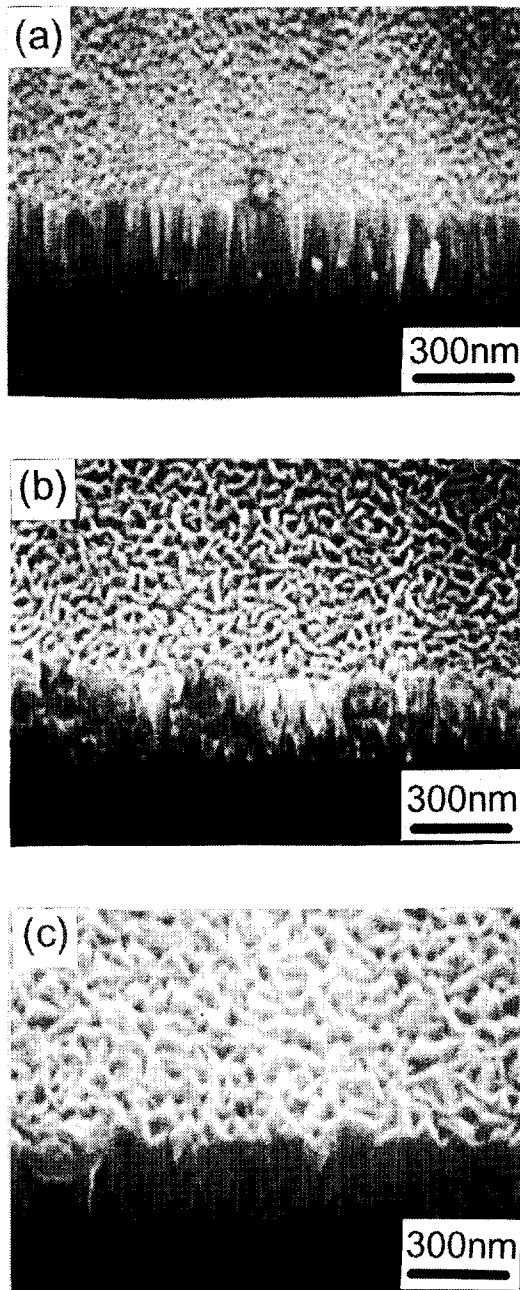


Fig. 5 SEM micrographs of RuO_2 films deposited at 5 mTorr, 125W, and 30% O_2 in the variation of substrate temperatures: (a) 350°C, (b) 450°C and (c) 550°C

RuO_2 박막에서 (101) 우선배향성이 (200) 우선배향성보다 더 강하게 나타나는 것은 (101) 면의 원자충진밀도가 (200)면의 그것보다 높기 때문일 것으로 생각된다. 일반적으로 원자충진밀도가 높은 면일수록 낮은 표면에너지

를 가질 가능성이 크므로 대부분의 조건에서 증착되는 박막들은 증착시 표면에너지를 낮추려는 경향에 의해서 충진밀도가 더 높은 면으로 우선배향성을 형성할 가능성이 크다. 그러나, 박막 증착시 가해지는 에너지가 높아져 부착원자들의 표면이동도가 증가하면 양이온과 음이온은 다른 표면이동도의 증가를 보이게 될 것으로 생각되는데, 박막의 우선배향성은 이들 중에서 우선적으로 규칙적인 배열을 하는 이온의 배열구조에 의해서 결정될 것으로 생각된다.

RuO_2 의 결정구조를 좀더 엄밀하게 살펴보면, RuO_2 의 (h00)면은 rutile 구조에서 변형된 bcc (body-centered-cubic) 구조를 가지는 산소 딸림격자(sublattice)의 최밀면인 (hh0)면과 거의 평행하다¹¹⁾. 그리고 같은 원소로 이루어진 bcc 금속 박막에서는 최밀면인 (hh0)면이 표면에너지가 가장 낮으므로 주로 (hh0) 우선배향성이 형성된다¹²⁾. 따라서, 만일 RuO_2 박막 형성시에 변형된 bcc 구조를 가지는 산소 딸림격자가 우선적으로 (110) 우선배향성을 형성하게 된다면 이때 형성되는 RuO_2 박막은 구조적으로 (200) 우선배향성을 가질 수 있다.

기판온도 450°C, rf 인가전력 75W, $\text{O}_2/(\text{Ar} + \text{O}_2)$ 비가 40%일 때 증착한 박막의 조성을 RBS로 분석한 결과 $\text{Ru}:\text{O}=1.00:2.05$ 로 화학양론적 조성에 가까운 RuO_2 박막의 증착되었음을 확인할 수 있었다. 또한 RuO_2 와 기판과의 부착성을 알아보기 위하여 테이프 실험을 한 결과, 상온에서 증착된 박막은 쉽게 기판으로부터 떨어져 기판과의 부착성이 나쁨을 알 수 있었으며, 기판온도 300°C 이상에서 증착한 박막은 기판과의 부착성이 우수함을 확인할 수 있었다.

RuO_2 박막을 고유전율 박막의 하부 전극물질로 사용하기 위해서는 표면 평활도가 중요한 요소이므로 증착 조건에 따른 미세구조의 변화를 관찰하였다. Fig. 5는 rf 인가전력이 125W이고, $\text{O}_2/(\text{Ar} + \text{O}_2)$ 비가 30%인 조건에서 Si 기판에 증착시킨 RuO_2 박막의 기판온도 변화에 따르는 표면 및 단면구조의 변화를 보이는 SEM 사진이다. 350°C에서 증착된 박막은 50~60nm 크기의 입자들로 이루어진 주상정 구조를 보이며 표면이 평활하다. 450,

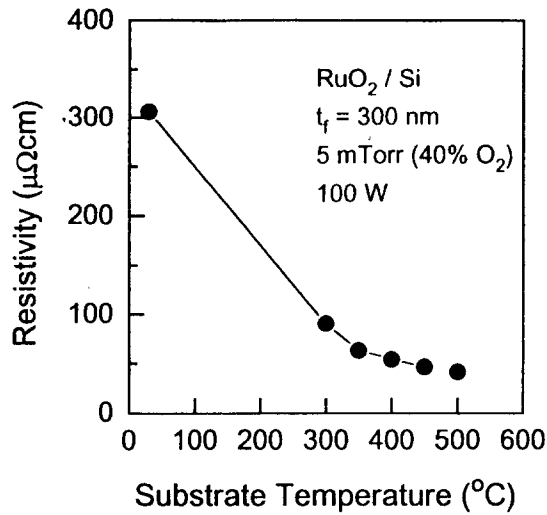


Fig. 6 Variation of resistivity of the 300 nm thick RuO₂ films deposited on Si at 5 mTorr, 100W, and 40% O₂, as a function of substrate temperature.

550 °C에서 증착된 박막도 주상정 구조를 보이지만 350 °C에서 증착된 박막에 비해 입자들이 100nm 정도로 크고 끝이 뾰족하여 표면이 거칠다. 기판온도가 350 °C에서 550 °C로 증가함에 따라 입자의 크기가 증가하고 표면이 거칠어지는 것은 기판온도가 증가함에 따라 기판 표면에 도달한 부착원자들의 표면이동도가 높아져 이들이 열역학적으로 안정한 자리를 찾아갈 가능성이 커지므로, 핵생성은 저하되고 입자성장이 촉진되기 때문이다. 기판온도가 250 °C 이하가 될 경우에는 박막과 기판과의 계면부근에 크기가 작은 입자들이 먼저 증착되고 그 위에 크고 작은 입자들이 섞여 있는 치밀하지 못한 미세구조를 가지는 박막이 증착되어 하부전극 재료로 사용하기에 적합하지 않았다. SiO₂/Si 기판위에 증착한 박막도 Si 기판과 유사한 경향을 보였으며 단지 차이점은 입자크기가 Si 기판에 증착한 것보다 10~20 nm 정도 크다는 것이었다.

Fig. 6은 rf 인가전력이 100W이고, O₂/(Ar+O₂)비가 40%인 조건에서 300 nm 두께로 증착한 RuO₂ 박막의 기판온도에 따른 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 기판을 가열하지 않고 증착한 박막의 비저항은 306 μΩ-cm로 매우 높고, 300 °C에서 증착한 박막은 90 μΩ-cm였다. 기판온도가 더 높아짐에 따라 박

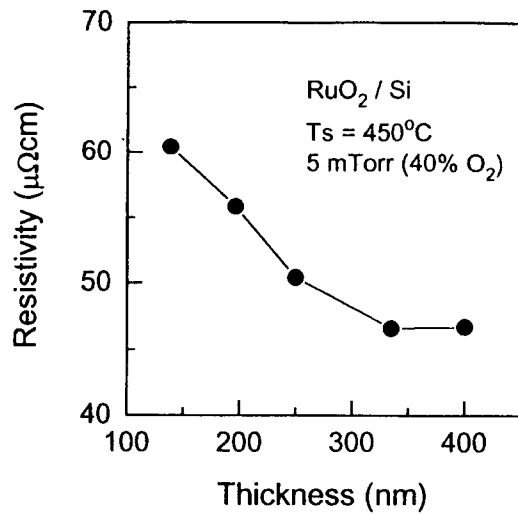


Fig. 7 Variation of resistivity of RuO₂ films deposited on Si at 5 mTorr, 40% O₂, 100 W, and 450 °C, as a function of film thickness.

막의 비저항은 단조감소하여 450, 500 °C에서 증착된 박막은 각각 46, 42 μΩ-cm의 비저항을 보였으며 이 값들은 단결정의 비저항 (35.2 μΩ-cm)¹³⁾과 유사하다. 기판온도가 증가함에 따라 비저항이 감소하는 것은 XRD, SEM 분석 결과로 미루어 볼 때 박막의 결정성이 향상되고 미세구조가 치밀해졌기 때문인 것으로 생각된다. 이 결과는 K.-Elbaum 등³⁾이 dc 마그네트론 반응성 스퍼터링법으로 증착한 RuO₂ 박막의 비저항(40 μΩ-cm)과 비슷하고, Si 등¹⁾이 유기화학기상증착법으로 증착한 RuO₂ 박막의 비저항(60 μΩ-cm)에 비해서 우수함을 알 수 있었다.

Fig. 7은 RuO₂ 박막의 두께에 따른 비저항의 변화를 나타낸 것이다. 박막의 두께가 140 nm에서 330 nm로 증가함에 따라 비저항은 61 μΩ-cm에서 46 μΩ-cm로 감소하였다. 이것은 두께 증가에 따른 입자 크기의 증가 및 RuO₂ 박막의 결정성의 향상에 의한 것이며 박막의 두께가 330 nm 이상으로 증가할 경우에 박막의 비저항이 벌크의 비저항에 상당하는 값으로 감소하였기 때문에 더 이상의 감소는 없는 것으로 생각된다.

Fig. 8은 기판을 가열하지 않고 증착한 RuO₂ 박막을 질소분위기에서 10분간 열처리한 시편의 비저항의 변화를 나타낸 것으로 갓 증

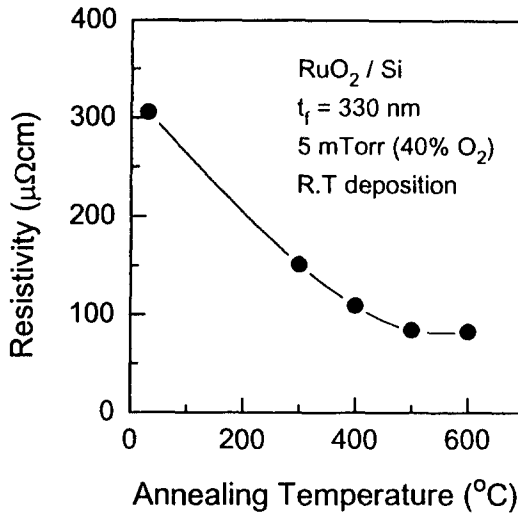


Fig. 8 Variation of resistivity of the 330 nm RuO_2 thick films deposited on Si at 5 mTorr, 40% O_2 100W, and room temperature, as a function of annealing temperature.

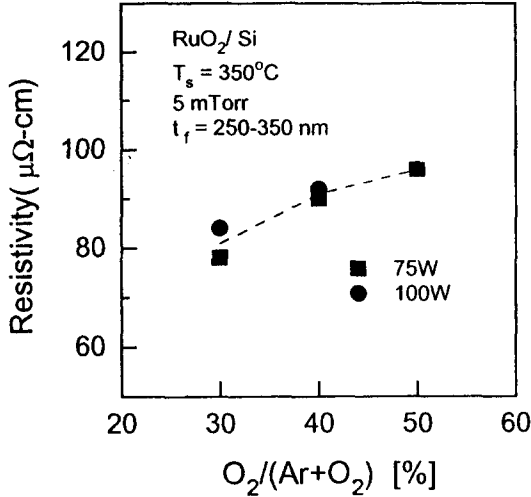


Fig. 9 Variation of resistivity of RuO_2 films of 250-350 nm thick deposited on Si at 5 mTorr, 350°C, as a function of oxygen concentration.

시 306 $\mu\Omega\text{-cm}$ 인 박막이 600°C에서 열처리 후 90 $\mu\Omega\text{-cm}$ 로 감소하였다. 열처리 후 비저항의 감소는 XRD 분석 결과 박막의 결정성의 향상에 기인하는 것임을 알 수 있었다.

Fig. 9는 $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비에 따른 박막의 비저항의 변화를 나타낸 것이다. $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비가 30%일 때 증착한 박막의 비저항이 $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비가 40, 50% 일 때 증착한 박막보

다 낮은 것은 본 논문에서 보이지는 않았지만 SEM 관찰에 의하면 산소분압이 낮을수록 입자 사이가 치밀한 박막이 형성되어 박막의 미세구조에 따른 영향이라고 생각된다. 또한, 이것은 스퍼터링 가스에서 산소의 비율이 높아질수록 화학양론적 조성내에서 RuO_2 박막의 산소의 양이 수 at.% 정도 증가할 것이므로 이 과량의 산소가 입계에 위치하여 전하의 이동도를 감소시켜 비저항이 높아진다는 K.-Elbaum의 연구와 일치한다.¹⁴⁾

4. 결 론

Rf 마그네트론 반응성 스퍼터링법으로 증착한 RuO_2 박막의 여러가지 특성을 분석해 보았다. $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비가 30~50%이고 rf 인가전력이 75~150W인 증착조건에서는 상온에서부터 단일상의 RuO_2 박막이 증착되었으며, 부착원자들의 에너지가 낮은 영역에서는 (101) 우선배향성이, 높은 영역에서는 (200) 우선배향성이 관찰되었다. RuO_2 박막은 주상구조로 증착되었으며 기판을 가열하지 않고 증착한 박막은 비저항이 306 $\mu\Omega\text{-cm}$ 이며 기판온도가 높아짐에 따라 비저항은 단조감소하여 500°C에서 증착한 것은 42 $\mu\Omega\text{-cm}$ 로 매우 낮았다. 기판온도가 350°C, $\text{O}_2/(\text{Ar}+\text{O}_2)$ 비가 30%, rf 인가전력이 125W 조건에서 증착한 박막은 비저항이 90 $\mu\Omega\text{-cm}$ 정도로 낮을 뿐만 아니라 표면이 매우 평활하여 고유전율 박막의 하부전극 재료로 이용하기에 적합하였다. 기판온도가 250°C 이하일 경우에는 입자 사이가 치밀하지 못한 박막이 증착되었으며, 450°C 이상일 경우에는 거친 표면구조를 가진 박막이 증착되어 하부전극으로 사용하기에 부적합하였다.

감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구소의 차세대반도체 선행기초기술연구사업의 연구비 지원으로 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Jie Si and Seshu B. Desu, J. Mater. Res. 8 (10), 2644 (1993)
- M.L. Green, J. Electrochem. Soc. 132(11), 2677 (1985)

3. L. Krusin-Elbaum and M. Wittmer, J. Electrochem. Soc. 135(10), 2610 (1988)
4. E. Kolawa, F.C.T. So, W. Flick, X. -A. Zhao, E.T-S. Pan and M-A. Nicolet, Appl. Phys. Lett. 50(13), 854 (1987)
5. E. Kolawa, C.W. Nieh, F.C.T. SO and M-A. Nicolet, J. Elec. Mat. 17(5), 425 (1988)
6. D.P. Vijay and S.B. Desu, J. Electrochem. Soc. 140(9), 2640 (1993)
7. H. Al-Shareef, K.D. Gifford, P.D. Hren, S. H. Rou, O. Auciello, and A.I. Kingon, Proc. 4th Int. Symp. on Integrated Ferroelectrics, Montrey, CA, 181 (1992)
8. L.A. Bursil, I.M. Reaney, D.P. Vijay and S. B. Desu, J. Appl. Phys. 75(3) 1521 (1994)
9. S. Saito and K. Kuramasu, Jpn. J. Appl. Phys. 31(1), 135 (1992)
10. A. Grill, W. Kane, J. Viggiano, M. Brady and R. Laibowitz, J. Mater. Res. 7(12), 3260 (1992)
11. D.N. Lee, J. Mater. Sci. 24, 4375 (1989)
12. H. Megaw, Crystal Structures : A Working Approach, Saunders Company, Philadelphia, p.253 (1973)
13. The Oxide handbook, 2ed edition, edited by G.V. Samsonov, translated by R.K. Johnston, (IFI/Plenum, 1982) Chap. 5
14. L. Krusin-Elbaum, Thin Solid Films, 169, 17 (1989)