

YMnO₃를 이용한 MFS 커패시터의 특성

Properties of MFS capacitors using YMnO₃ film

김채규, 김진규, 정순원, 김용성, 이남열, 김광호, 유병곤, 이원재, 유인규, 양일석
(Chae-Gyu Kim, Jin-Kyu Kim, Soon-Won Jung, Yong-Seong Kim, Nam-Yeal Lee, Kwang-Ho Kim,
Byung-Gon Yu, Won-Jae Lee, In Kyu You, Yil-Suk Yang)

청주대학교 전자공학과
청주대학교 전자·정보통신·반도체 공학부
전자통신연구원
(Dept. of Electronic Eng. Cheongju University)
(School of Electronic·Computer & Communication·Semiconductor Eng. Cheongju University)
(Electronics and Telecommunications Research Institute)

Abstract

In this paper, the electrical properties of Pt/YMnO₃/Si(100) structures with difference rapid thermal annealing (RTA) treatment were investigated. YMnO₃ films were obtained without buffer layers, introducing oxygen. A typical value of the dielectric constant was about 20 derived from 1MHz capacitance-voltage (C-V) measurement and the resistivity of the film at the field of 150kV/cm was about $1.34 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$. The minimum interface state density around midgap was estimated to be about $5 \times 10^{11} / \text{cm}^2 \cdot \text{eV}$.

Key Words(중요용어) : YMnO₃ thin films (YMnO₃ 박막), rapid thermal annealing (RTA), ferroelectric material (강유전체 물질)

1. 서론

현재 국내외적으로 강유전체 박막을 이용한 여러 가지 디바이스 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중에서 MFS(Metal-Ferroelectric-Semiconductor) 구조는 반도체 위에 강유전체 박막을 직접 성장시킨 것으로서 MFS 구조를 실현하기 위해서는 여러 가지 제약이 따른다. 현재까지 Bi₄Ti₃O₁₂, BaTiO₃, PbTiO₃, PZT 등의 산화물계 강유전체 물질들에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 이들 산화물계 강유전체들은 실리콘 위에서는 산화물과 반응하여 실리콘 산화물을 형성하기 때문에 강유전성을 상실하게 되며, 원자적으로도 안정되지 않는다. 이러한 구조에서 양호한 특성을 얻기 위해서는 반도체 위에

직접 강유전체 박막을 성장시켜야하며 강유전체 박막과 반도체 계면사이에 D_{it}(interface trap density)가 적어야만 한다. 최근에는 강유전체 재료중 YMnO₃를 이용한 연구가 진행되고 있다^{[1][2][3]}. YMnO₃의 특징으로는 유전상수 값이 작고 (실온에서 약 20) 비휘발성을 갖는 강유전체 물질이기 때문에 다른 강유전체 물질과 비교해서 여러 가지 장점을 갖고 있다고 할 수 있다. YMnO₃ 박막의 구조는 hexagonal이며, 자발분극 Ps는 c축으로 일어나며 그 값은 $5.5 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ 으로 알려져 있다. YMnO₃가 강유전성을 갖는다는 것은 1963년에 발견되었으나^[4], 디바이스에 적용시키는 보고는 아직 충분하지 않다.

본 연구에서는 강유전체 박막으로 YMnO₃를 RF magnetron sputtering system을 이용해 반도체 위

에 직접적으로 성장시켰다. 강유전성과 계면특성을 동시에 개선시키는 방법으로 각각 다른 두 가지 가스 분위기(O₂, N₂)중에서 고온 순간 열처리 방법(RTA)을 행하였으며, 상부 전극물질로 Pt를 이용하여 MFS구조를 만들어 전기적인 특성을 평가하였다.

2. 실험 및 결과

2.1 MFS 커패시터의 제작

저항률이 5~8Ω·cm인 boron이 도핑된 p-Si(100) 기판을 유기세정 및 표준 RCA법^[5]을 이용하여 세척한 후 시료준비실이 설치된 RF magnetron sputtering system에서 YMnO₃ 박막을 실온에서 증착시켰다. 표 1은 스퍼터링 조건을 나타낸 것이다. RF magnetron sputtering system의 base 진공도는 5×10⁻⁷ Torr 이하이며 YMnO₃ 3"의 타겟을 사용하였다. RF input power는 50W, 100W, 200W까지 각각 변화시켰으며, 증착된 YMnO₃ 박막을 질소와 산소분위기에서 각각 60 s 동안 고온 순간 열처리(RTA)를 행하였다. RTA온도는 650°C~950°C까지 행하였으며, E-beam을 이용하여 게이트 전극물질로 Pt전극을 증착하였다.

표 1. Sputtering 조건.

Table 1. Sputtering Condition.

Parameter	Value
Target	YMnO ₃ - diameter : 3" - thickness : 0.25"
RF input power	50W, 100W, 200W
Gas pressures	10 mTorr
Sputtering gas	Ar/O ₂
Target to substrate distance	55 mm

2.2 YMnO₃/Si 구조의 특성

그림 1에 YMnO₃/Si(100) 구조에 있어서 as-depo와 950°C까지 산소분위기에서 열처리한 XRD 패턴을 나타냈다. 그림에서 보는 바와 같이 열처리를 하지 않은 것과 650°C에서 열처리를 한 경우에는 amorphous상이 그대로 유지되다가 750°C부터 c축 배향인 YMnO₃(002)와 YMnO₃(004) 피크가 나타나

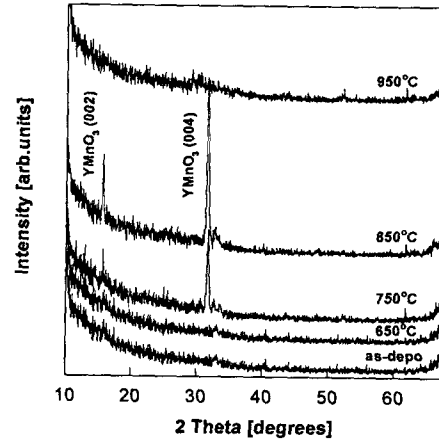


그림 1. YMnO₃/Si(100) 구조의 열처리 전후의 XRD 패턴.

Fig 1. XRD patterns of with and without annealed of YMnO₃/Si(100) structures.

기 시작하여 850°C 부근에서 가장 강하게 뒀이 관측되었다. 950°C의 열처리에서는 YMnO₃(002) 및 YMnO₃(004) 피크가 없어짐이 관측되어 950°C 정도의 높은 온도에서는 결정구조가 변화됨을 알 수 있다. YMnO₃ 박막의 구조적 특성에 대한 자세한 보고는 본 연구팀의 다른 발표에서 행할 예정이다^[6].

2.3 MFS 커패시터의 전기적인 특성

그림 2는 RF input power 100W에서 증착된 YMnO₃ 박막을 as-depo와 산소분위기에서 950°C까지 RTA 처리를 한 MFS 커패시터의 1MHz C-V 특성곡선을 나타낸 것이다. as-depo에서 750°C까지 열처리시킨 커패시터들은 C-V특성이 반시계방향(injection type)으로 나오고, 850°C와 950°C에서는 시계방향(ion drift type 혹은 polarization type)으로 나타났다. 850°C와 950°C에서 시계방향으로 C-V가 나타난 것은 현재로서는 확실하지 않으나 YMnO₃ 박막이 인가한 게이트 전압에 의하여 분극반전이 이루어진 것으로서 강유전체의 특성인 히스테리시스 특성을 갖는 것으로 판단된다.

그림 1의 XRD 패턴과 그림 2의 1MHz C-V 특성곡선의 결과를 검토하여 산소분위기에서 열처리 온도가 850°C 부근에서 전기적 특성이 얻어져 이 온도 부근에서 제작된 MFS 커패시터들의 전기적 특

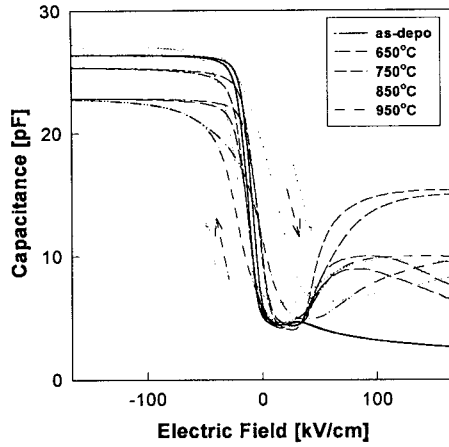


그림 2. 100W, O₂ 분위기에서 열처리 한 MFS 커패시터의 1MHz C-V 특성 곡선.

Fig 2. 1MHz C-V characteristics of 100W, O₂ ambient RTA annealed MFS capacitors.

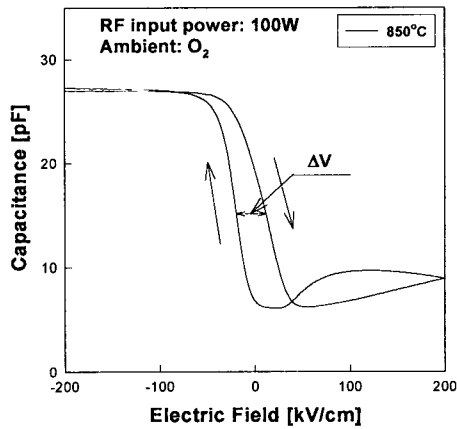
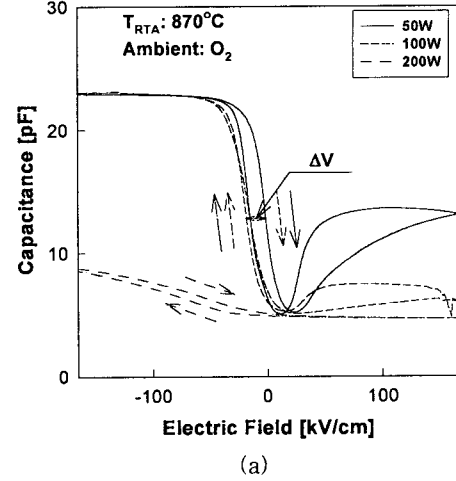


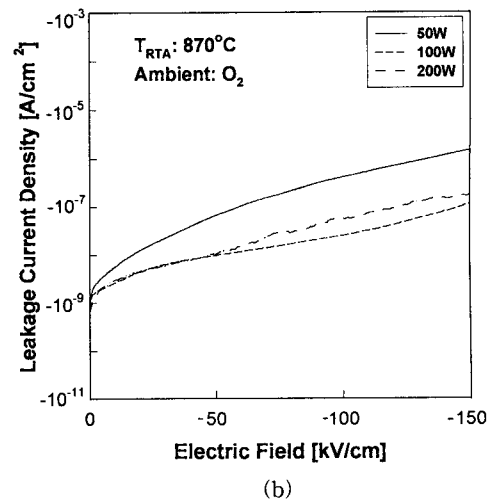
그림 3. 850°C, O₂ 분위기에서 열처리 한 MFS 커패시터의 1MHz C-V 특성 곡선.

Fig 3. 1MHz C-V characteristics of 850°C, O₂ ambient RTA annealed MFS capacitors.

을 검토해 보기로 하였다. 그림 3은 RF input



(a)



(b)

그림 4. RF input power 의존성에 대한 MFS 커패시터의 전기적 특성 (a) 1MHz C-V 특성 (b) leakage current density 특성.

Fig 4. Electrical properties of MFS capacitors dependence of RF input power (a) 1MHz C-V characteristics (b) leakage current density characteristics

power 100W로 증착한 YMnO₃ 박막을 O₂ 분위기에서 850°C로 RTA 처리를 한 MFS 커패시터의 C-V 특성곡선을 나타낸 것이다. YMnO₃ 박막의 분극 반전에 의한 히스테리시스 특성으로 판단되는 시계방향의 C-V특성이 얻어졌으며, accumulation 영역에

서 산출한 YMnO_3 의 유전상수 값은 20이었으며 이 값은 YMnO_3 벌크의 유전상수 값(20)과 거의 같았다. 이 C-V곡선으로부터 산출한 Midgap부근에서의 계면 준위 밀도(D_{it})는 약 $5 \times 10^{11}/\text{cm}^2 \cdot \text{eV}$ 이었으며, 메모리 윈도우 ΔV 는 약 0.8Volt이었다.

그림 4에 RF power에 따른 C-V특성 및 박막의 누설전류 특성을 보인다. 그림 4의 (a)는 RF input power에 따른 C-V 특성을 나타낸 것으로 산소분위기에서 870°C RTA 처리를 행한 것이다. 50W와 100W는 양호한 계면 특성을 유지하고 있지만 200W에서는 계면 특성이 나쁘게 나타났다. 이것은 RF power를 높임에 따라 계면이 손상을 입기 때문인 것으로 판단된다. 100W에서 증착한 YMnO_3 박막의 메모리 윈도우의 특성(ΔV)은 거의 나타나지 않았다. 50W에서 증착한 YMnO_3 박막의 계면 특성이 100W보다 우수하게 나타났으며 메모리 윈도우 ΔV (약 0.5Volt)는 100W, 200W 보다 크게 나타났다. 그림 4의 (b)는 그림 4의 (a)에서 측정된 MFS 커패시터에 대해 게이트 누설전류밀도를 측정한 것이다. RF input power 의존성을 보았을 때 100W에서 증착한 YMnO_3 박막의 게이트 누설전류밀도 특성이 우수한 것으로 판명되었다. 그래프에서 얻어진 저항율은 가해진 전계가 150kV/cm일 때 50W, 100W, 200W에 대해서 각각 1.02×10^{11} , 1.34×10^{12} , $8.5 \times 10^{11} \Omega \cdot \text{cm}$ 이었다.

3. 결론

RF magnetron sputtering을 이용한 $\text{YMnO}_3/\text{Si}(100)$ 구조를 성공적으로 제작하였으며, RTA 기법을 이용해 YMnO_3 박막의 특성을 개선하였다. YMnO_3 박막의 구조적 특성은 XRD 패턴으로 확인하였으며, YMnO_3 박막을 산소분위기에서 750°C 이상으로 열처리를 하면 결정 배향이 YMnO_3 의 자발 분극방향인 c축으로 이루어짐을 알 수 있었다. 구조적 특성과 전기적 특성으로 보아 YMnO_3 박막은 산소분위기에서 열처리를 행하면 양호한 C-V 특성과 I-V 특성이 얻어짐을 확인하였다. 50W, 100W, 200W의 RF input power 의존성은 산소분위기에서 열처리 온도를 870°C로 했을 때 C-V 특성에서는 50W가 좋은 특성이 얻어졌으며, I-V 특성에서는 100W가 좋은 특성을 나타냈다. 따라서 현재, 열처리 분위기는 산소분위기, 열처리 온도는 870°C, RF input power는 50W가 가장 좋은 것으로 판명되었다. 1MHz C-V 특성 곡선의 accumulation 영역으로부터 추출하여 계산된 유전상수 값은 20이

었고 이 값은 YMnO_3 벌크의 유전상수 값(20)과 거의 같았다. MFS 커패시터의 I-V 특성곡선에서 측정된 YMnO_3 의 저항율은 가해진 전계가 150kV/cm일 때 $1.34 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ 이었다. Midgap 부근에서 산출한 계면 준위 밀도는 약 $5 \times 10^{11}/\text{cm}^2 \cdot \text{eV}$ 이었다.

감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구원의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

1. Fujimura N, Ishida T, Yoshimura T, Ito Applied Physics Letters , V. 69 No. 7 , 12 August 1996.
2. Norifumi Fujimura, Shu-ichiro Azuma, Nobuaki Aoki, Takeshi Yoshimura, and Taichiro Ito J. Appl. Phys., Vol. 80. No. 12, 15 December 1996.
3. Ho Nyung Lee, Yong Tae Kim, and Young K. Park, Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No. 25, 21 June 1999.
4. G. A. Smolenskii and V. A. Bokov, J. Appl. Phys. 35, 915 (1964).
5. K. Werner, and D. A. Puotinen, "Cleaning Solutions Based on Hydrogen Peroxide for use in Silicon Semiconductor Technology", RCA Review, vol. 31, pp. 187-206, June 1970.
6. 김진규 et al., "스퍼터링을 이용한 $\text{YMnO}_3/\text{Si}(100)$ 구조의 제작", 99년도 한국전기전자재료학회 추계학술대회 발표논문.