

스퍼터링을 이용한 $YMnO_3/Si(100)$ 구조의 제작

Fabrication of $YMnO_3/Si(100)$ Structures by RF Magnetron Sputtering

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

청주대학교 전자공학과

청주대학교 전자·정보통신·반도체 공학부*

한국전자통신연구원**

(Dept. of Electronic Eng. Cheongju University)

(School of Electronic·Computer & Communication·Semiconductor Eng. Cheongju University)*

(Electronics and Telecommunications Research Institute)**

Abstract

The growth of $YMnO_3$ films directly on $Si(100)$ substrates by RF magnetron sputtering system has been performed. The structural properties of $YMnO_3$ films on $Si(100)$ by rapid thermal annealing(RTA) analysed by XRD(X-ray diffraction). The c -axis oriented $YMnO_3$ peaks were observed deposited in $YMnO_3/Si(100)$ structure at RF power of 100W and at a temperature range of $840^\circ C \sim 870^\circ C$ in oxygen ambient.

Key Words(중요용어) : XRD(X-ray diffraction)

Nonvolatile memory (비휘발성 메모리), $YMnO_3$ thin films ($YMnO_3$ 박막),

RTA(고온 순간 열처리)

1. 서론

최근 비휘발성 메모리에 활용하기 위한 강유전체 박막들이 많이 연구 되어 왔는데 특히 PZT, SBT같은 강유전체 물질들에 대한 연구가 있었다. 하지만 이러한 강유전체 물질들은 몇 가지의 문제점들을 가지고 있는데 첫 번째로 PZT, SBT같은 강유전체 물질들을 실리콘 기판에 성장시킬 때 Pb, Ta, Bi같은 물질들은 실리콘 기판속으로 쉽게 확산 된다. 두 번째로 강유전체 물질들은 높은 유전율을 가지고 있어 소비 전력이 커지게 된다. 마지막으로 fatigue, retention, imprint, depolarization 같은 신뢰성에서 문제를 가지고 있다. 이것은 휘발성에 의한 것으로 특히 이것은 fatigue에 있어서 매우 중요한 요소이다. 또한 이러한 PZT, SBT 강유전체 물질들을 실리콘 기판에 성장할 경우 분극의 축이 기판과

일치 하지 않기 때문에 fatigue, retention의 특성에 있어서 문제가 된다. 상기한 여러 가지의 문제점들을 해결하기 위해서 새로이 대두되는 물질이 ABO_3 입방정계 구조인 페롭스카이트 결정의 $YMnO_3$ 이다. $YMnO_3$ 는 격자 상수가 $a=0.613nm$, $c=1.151nm$ 이고 유전율은 $\epsilon_r=20$ 이라 보고 되고 있다¹⁾. 또한 $YMnO_3$ 는 Pb, Bi와 같은 휘발성 요소를 가지고 있지 않으며 자발분극 P_s 는 오직 하나의 분극 축(c -axis)²⁾만을 가지고 있으며 그 값은 $5.5 \mu C/cm^2$ 로 알려져 있다. 또한 $YMnO_3$ 의 Y는 Si 표면에서 발생하기 쉬운 SiO_2 산화물을 환원시킨다는 보고¹⁾도 있다. 본 실험에서는 RF magnetron sputtering system을 이용하여 Si(100) 기판 위에 직접 $YMnO_3$ 박막을 증착시켜 제작된 $YMnO_3/Si(100)$ 구조에 있

어서 열처리 온도 및 열처리 분위기를 변화시켜 YMnO_3 결정구조를 주로 XRD 분석을 통해 해석하였다.

2. 실험 및 결과

2.1 $\text{YMnO}_3/\text{Si}(100)$ 구조의 제작

본 실험에서는 산화물계 강유전체인 YMnO_3 박막을 저항율이 $5\sim 8\ \Omega\cdot\text{cm}$ 인 boron이 도핑된 p-Si(100) 기판에 RF magnetron sputtering system을 이용하여 직접 증착하였다. 그림 1에서는 본 실험에 대한 실험 순서도를 나타내고 있다. p-Si(100) 기판은 유기세척 및 표준 RCA법³⁾을 이용하여 세척하였다. 순도가 99.9% 이고 크기가 3인치인 YMnO_3 타겟을 RF magnetron sputtering system을 이용하여 p-Si(100) 기판에 YMnO_3 박막을 증착하였다. YMnO_3 를 증착할 때 반응 gas의 압력은 10mTorr 이고 타겟과 기판과의 거리는 55mm이다. 반응 gas로는 Ar만을 사용하였으며 그 양은 40sccm으로 유지하였다. 또한 RF power는 50W, 100W, 200W로 변화시켜 실험하였다. 제작된 $\text{YMnO}_3/\text{Si}(100)$ 구조는 열처리의 조건을 변화시켜 가면서 고온 순간 열처리를 하였다. 열처리(RTA) 분위기의 조건은 O_2 , N_2 두가지로 변화시켰으며 각각의 분위기에 대하여 온도를 $650^\circ\text{C}\sim 950^\circ\text{C}$ 까지 변화시켰다. 마지막으로 이렇게 열처리된 $\text{YMnO}_3/\text{Si}(100)$ 구조를 XRD(X-ray diffraction)를 이용하여 박막의 구조를 분석하였다.

그림 2에 RF input power 100W로 제조한 박막을 열처리하기 전과 질소와 산소 분위기에서 650°C , 750°C , 850°C , 950°C 로 열처리한 후의 $\text{YMnO}_3/\text{Si}(100)$ 구조의 XRD 패턴을 보이고 있다. 그림에서 보면 as-depo와 650°C 에서는 아무런 피크가 나타나지 않는 amorphous 상태를 나타내고 있다. 그러나 산소 분위기에서는 열처리의 온도를 증가하여 $750^\circ\text{C}\sim 850^\circ\text{C}$ 에서는 새로운 YMO(002), YMO(004) 피크들이 나타났으며, 850°C 에서는 750°C 피크치보다 값이 증가하였다. 이러한 YMO(004) 피크치가 나타나는 것은 YMnO_3 박막이 열처리에 의해서 c-axis으로 배향되는 것을 나타내고 있다. 열처리의 온도가 950°C 인 경우에는 YMO(002), YMO(004) 피크들이 나타나지 않는다. 한편, 질소 분위기에서는 산소 분위기와는 다르게 $750\sim 950^\circ\text{C}$ 에서 아무런 피크값이 검출되지 않았다.

이러한 결과로 인해 50W, 100W, 200W에 대해서 실험 조건을 변화시키며 행하였다. 변화된 실험 조건은 RTA 온도 범위를 $810^\circ\text{C}\sim 910^\circ\text{C}$ 까지로 좁혀 power 의존성을 검토하였다.

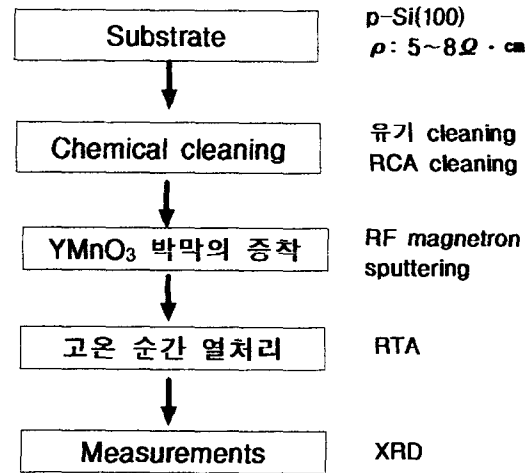


그림 1. 산화물계 강유전체 YMnO_3 를 이용한 $\text{YMnO}_3/\text{Si}(100)$ 구조의 제작 순서도
Fig. 1. Fabrication flow chart of $\text{YnO}_3/\text{Si}(100)$ structure using ferroelectric oxide YMnO_3

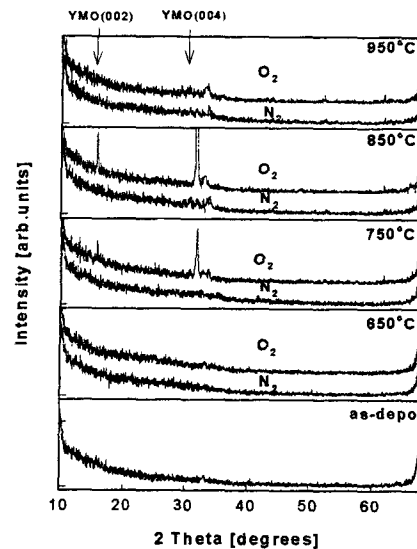
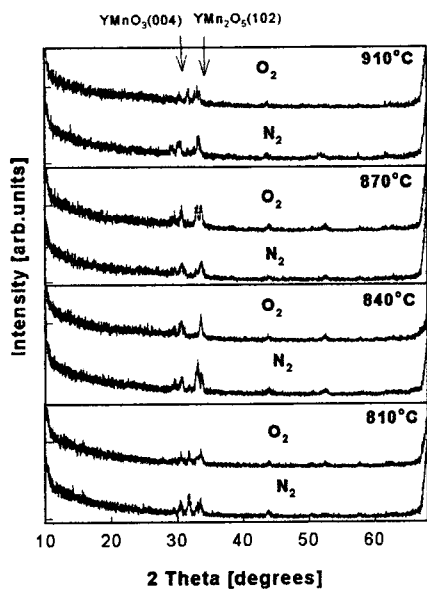
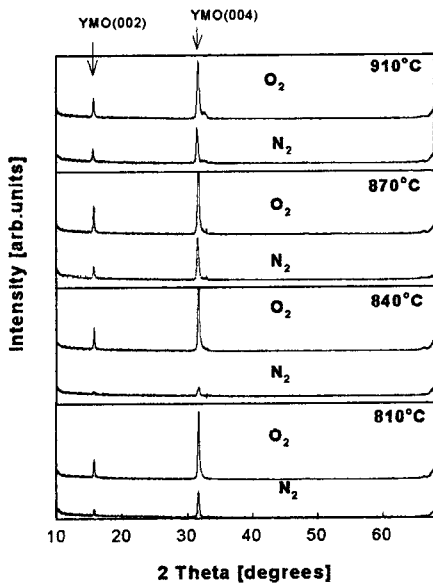


그림 2. 질소 및 산소 분위기에서의 열처리 전후의 YMnO_3 박막의 XRD 패턴(100W)
Fig. 2. XRD patterns of YMnO_3 films before and after annealing in O_2 and N_2 ambient(100W)

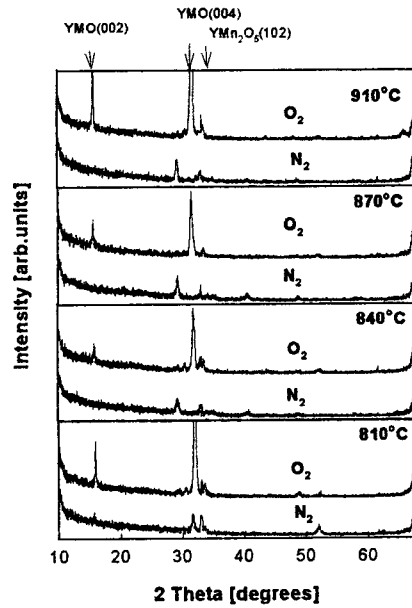


(a)



(b)

그림 3(a)에 RF input power 50W로 제조한 박막을 질소 분위기와 산소 분위기에서 810°C ~ 910°C로 열처리한 후의 YMnO₃/Si(100) 구조의 패턴을 보인다. 이 온도 범위의 산소 및 질소 분위기에서의 열처리에서는 YMnO₃(004)와 YMn₂O₅(102)



(c)

그림 3. YMnO₃ 막 결정성의 RF power 의존성 (a) 50W (b) 100W (c) 200W

Fig. 3. RF power dependence of YMnO₃ films (a) 50W (b) 100W (c) 200W

피크들이 약하게 나타나고 있으며, 높은 면지수를 갖는 피크들도 아주 약하게 나타나고 있는 바 이 막은 다결정의 막으로 판단된다.

그림 3(b)는 RF input power를 100W로 하였을 때의 결과이다. 100W의 power에서는 810°C ~ 910°C 범위에서 YMnO₃(002) 및 YMnO₃(004)의 강한 피크만이 관찰되는 바 c축으로 배향된 막으로 형성됨을 알 수 있다. 산소와 질소 분위기의 차이는 피크 강도가 산소분위기에서 행함이 더 강하게 나타나고 있는 것으로 보아 결정성이 더 양호하다고 판단된다. 특히, 열처리 온도가 증가함에 따라 피크 강도가 증가하여 870°C 에서 행하였을 때 가장 강한 피크가 얻어졌으며 910°C 에서 열처리하면 오히려 피크강도가 감소하는 것으로 보아 결정성이 악화되는 것으로 판단하고 있다.

그림 3(c)에 200W에서 제조한 막의 열처리 온도, 분위기 의존성을 보인다. 산소분위기에서 열처리한 막은 c축으로 배향된 YMnO₃ 피크들만 관측되고 있으며 온도가 증가함에 따라 강도가 증가하는 것으로 보아 결정성이 좋아지는 것으로 판단된다. 한편, 질소분위기에서 열처리 했을 경우에는 c축 방향의 YMnO₃에 의한 피크는 전혀 나타나지 않고 대신 YMn₂O₅ 라고 생각되는 피크와 고차수의 면들에

의한 약한 피크들이 관측되었다. 이는 막에서의 산소 결핍에 의한 것으로 판단된다.

3. 결 론

RF magnetron sputtering system을 이용하여 $\text{YMnO}_3/\text{Si}(100)$ 구조를 형성 하였다. RF power가 50W 일때는 YMnO_3 박막은 $810^\circ\text{C} \sim 910^\circ\text{C}$ 로 열처리 후 분위기 조건에 관계 없이 다결정의 막을 형성 하였다. 100W인 경우에는 $840^\circ\text{C} \sim 870^\circ\text{C}$ 사이에서 c 축으로 배향된 막을 형성하며 산소 분위기에서는 더욱 양호한 결정성을 보인다. 200W인 경우에는 산소 분위기에서는 온도가 증가 함에 따라 박막의 결정성이 좋아지며 질소인 경우에는 막에서의 산소 결핍으로 인하여 YMnO_3 막으로 형성되지 않았다.

감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구원의 연구비 지원을 받아 수행 되었습니다.

참고 문헌

1. Shogo IMADA, Shigeto SHOURIKI, Esisuke OKUMITSU and Hiroshi ISHIWARA, "Epitaxial Growth of Ferroelectric YMnO_3 Thin films Si(100) Substrates" Jpn. J. Appl. Phys. vol. 37, part 1, No. 12A, pp. 6497-6501, December 1998
2. G. A. Smolenskii and V. A. Bokov, J. Appl. Phys. 35, 915(1964).
3. K. Werner, and D. A. Puotinen, "Cleaning Solutions Based on Hydrogen Peroxide for use in Silicon Semiconductor Technology", RCA Review. 31., pp. 187-206, Junc. 1970.