

논문 2000-9-2-01

초전형 적외선 센서를 위한 MgO(100)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si 기판 제작

김성우, 성세경, 류지열, 최우창, 최혁환, 이명교, 권태하

Fabrication of MgO(100)/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si Substrate for Pyroelectric IR Sensor

Sung-Woo Kim, Se Kyoung Sung, Jee-Youl Ryu, Woo-Chang Choi, Hyek-Hwan Choi, Myoung-Kyo Lee and Tae-Ha Kwon

## 요약

Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si 판위에 MgO 박막을 성장하여 MgO 단결정과 결정배향성이 유사한 초전형 적외선 센서용 기판을 제작하였다. RF 마그네트론 스퍼터링법으로 MgO 박막을 성장하였고, 그 위에 Pt 하부전극과 PLT 박막을 성장시킨 후 c축 배향성을 조사하였다. 500 °C의 기판온도와 30 mTorr의 분위기 압력 및 160 W의 RF power에서 성장된 MgO 박막이 단결정 MgO가 가지는 배향성 정도의 우수한 a축 배향성을 보였고, 그 위에 성장된 PLT 박막은 MgO 단결정 기판위에 성장된 것과 거의 회절강도 변화가 유사한 c축 배향성을 보였다.

## Abstract

The substrate for pyroelectric IR sensor which has orientation similar to MgO single crystal was fabricated by depositing the MgO thin film on Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si. The MgO thin film was deposited by RF magnetron sputtering. The c-axis orientation of PLT thin film deposited on Pt/MgO/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si substrate was investigated. The MgO thin film deposited at 500 °C at a gas pressure of 30 mTorr with RF power of 160 W exhibited a good a-axis orientation. The PLT thin films deposited on these substrates also exhibited c-axis orientation similar to the PLT thin films deposited on MgO single crystal substrate.

## 1. 서론

초전형 적외선 센서는 온도변화에 따라 그의 표면에 전하가 발생하는 초전효과를 이용하기 때문에, 감도향상을 위해서 c축 배향성이 우수한 강유전체막과 열차단 효과가 뛰어난 기판이 적합하다<sup>1)~4)</sup>. 현재까지는 우수한 c축 배향성을 갖는 강유전체막을 성장시키기 위해서 열팽창계수가 크고 강유전체막과 결정구조나 격

자상수가 비슷한 MgO 단결정이 초전형 적외선 센서의 기판으로 널리 사용되어 왔다<sup>1)~6)</sup>. 그러나 MgO 단결정 기판은 강유전체막의 c축 배향에는 적합하나 고가일 뿐만 아니라 열손실을 줄이기 위한 공정이 까다롭다. 이러한 문제점으로 인해 최근에는 Si이나 SiO<sub>2</sub>/Si위에 단결정과 유사한 MgO 박막을 성장시키려는 연구가 진행되고 있으며, 일본의 HP사<sup>13)</sup>에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 Si 위에 MgO 박막을 (100)면으로 증착했다고 보고한 바 있다. 그러나 이러한 기판은 Si로의 열전도도가 높아 열손실이 크며, 멤브레인 제작시

부경대학교 전자공학과 (Dept. of Electronic Eng., Pukyong National University)

<접수일자 : 1999년 10월 29일>

유전체와 Si 사이에 작용하는 스트레스 불균형으로 멤브레인의 표면이 평탄하지 못하거나 쉽게 부서지는 문제점이 있다. 따라서 최근에는 Si 보다 열전도도가 낮고 스트레스 문제를 개선한  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$  멤브레인 구조에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 대부분 가스센서나 유체센서에 사용되고 있다<sup>[8]</sup>.

본 연구에서는  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$  판위에 단결정과 유사한 MgO 박막을 성장시켜 초전형 적외선 센서의 기관으로 사용하고자 하였다. MgO 단결정 기관이나 여타의 기관보다 열전도도가 낮고, 뒷면 Si의 식각이 용이한  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  멤브레인 위에 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 MgO 박막을 성장시켜 PLT막의 c축 배향에 적합하고, 열차단 효과가 뛰어난 기관을 제작하고자 하였다. MgO 단결정과 결정배향성이 유사한 MgO 박막을  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  위에 성장시키기 위해서 여러 가지 증착변수에 따른 특성을 조사하였고 Si이나  $\text{SiO}_2/\text{Si}$  위에 성장시킨 MgO 박막과 결정배향성을 비교하였다. 또한 제작된  $\text{MgO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$  기관 위에 Pt 하부전극과 PLT 박막을 성장시켜 c축 배향성을 조사하였다.

## II. 실험 및 측정

$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}(\text{N}/\text{O}/\text{N}/\text{Si})$ ,  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ , Si 기관위에 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 MgO 박막을 성장하였다. 이때, N/O/N 막은 스트레스 균형이 이루어지도록 n형 (100) Si 기관위에  $\text{Si}_3\text{N}_4$ 와  $\text{SiO}_2$ 를 각각 적층하여 150 nm- $\text{Si}_3\text{N}_4$ /300 nm- $\text{SiO}_2$ /150 nm- $\text{Si}_3\text{N}_4$  두께로 형성하였고<sup>[8]</sup> 박막성장용 MgO target은 MgO 분말을 이용하여 직경이 2 inch이고 6 mm정도의 두께로 제작하였다. 그 위에 Pt 하부전극과 PLT 박막을 증착하였다. PLT target은 스퍼터링시에 생기는 Pb 결핍을 보충하기 위해서 파인  $\text{PbO}$  분말을 첨가하여  $\text{Pb}_{0.95}\text{La}_{0.05}\text{Ti}_{0.875}\text{O}_3 : \text{PbO} = 4 : 1$ 의 비율로 하여 제작하였다. MgO 박막, Pt 전극 및 PLT 박막의 성장 조건은 표 1, 2 및 3과 같다. 이렇게 제작된 MgO, Pt 및 PLT 박막에 대해 X-ray diffraction (XRD) 결과를 토대로 하여 축 배향성 및 회절강도 등을 조사·분석하였다.

표 1. MgO 박막의 성장조건

Table 1. Sputtering conditions for MgO thin film.

RF power	100, 120, 140, 160, 180, 200 W
Substrate	$\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$ , $\text{SiO}_2/\text{Si}$ , Si
Substrate temperature	350, 400, 450, 500, 550, 600 °C
Base vacuum	$1 \times 10^{-6}$ Torr
Gas pressure	10, 20, 30, 40 mTorr (Ar)
Film thickness	2500 Å
Cooling	natural

표 2. Pt 하부전극의 성장조건

Table 2. Sputtering conditions for Pt bottom electrode.

RF power	40 W
Substrate	$\text{MgO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$
Substrate temperature	500 °C
Base vacuum	$1 \times 10^{-6}$ Torr
Gas pressure	20 mTorr (Ar)
Film thickness	300 Å
Cooling	natural

표 3. PLT 박막의 성장조건

Table 3. Sputtering conditions for PLT thin film.

RF power	40 W
Substrate	$\text{Pt}/\text{MgO}/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$
Substrate temperature	600 °C
Base vacuum	$1 \times 10^{-6}$ Torr
Gas pressure	20 mTorr (Ar:O <sub>2</sub> = 9:1)
Film thickness	2000 Å
Cooling	natural

## III. 결과 및 고찰

### 3.1. MgO 박막의 XRD 결과

#### 1. RF power에 따른 MgO 박막의 XRD 결과

그림 1은 타겟에 가해지는 RF power에 따른 MgO 박막의 XRD 결과를 나타낸 것이다. RF power가 증가함에 따라 MgO (200)면에 대한 회절강도는 증가하고,

Si (200)면에 대한 회절강도는 감소하여 160 W에서 MgO (200)면에 대한 회절강도는 최대치를 보였으며, 그 이상의 power에서는 다시 감소하는 경향을 보였다. Power가 증가하면 스퍼터링되어 기판에 도달한 입자의 에너지가 증가되어 기판위에서 입자의 이동도가 커지며, 이러한 입자가 안정한 격자위치를 찾아갈 확률이 증가하므로 박막의 결정화가 촉진된다<sup>[5,7]</sup>. 그러나, power가 더욱 커지면 빠른 증착속도로 인하여 기판에 흡착된 입자가 안정한 격자위치를 찾아갈 수 있는 시간이 줄어들어 박막의 결정화는 감소하는 것으로 생각된다<sup>[5,7]</sup>.

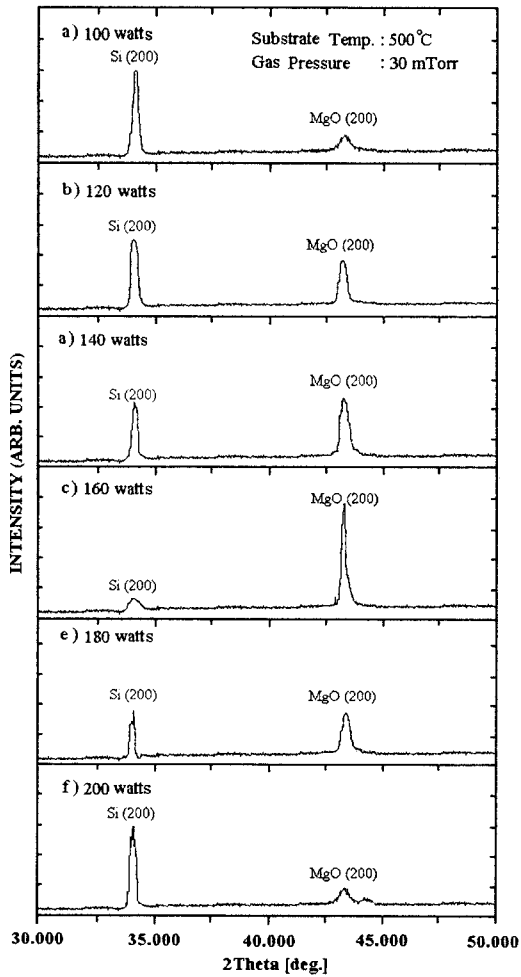


그림 1. RF power에 따른 MgO 박막의 XRD 결과  
Fig. 1. XRD patterns of the MgO thin films as a function of RF power.

## 2. 기판온도에 따른 MgO 박막의 XRD 결과

기판온도에 따른 MgO 박막의 XRD 결과를 그림 2에 나타내었다. 기판온도가 증가함에 따라 MgO (200)면에 대한 회절강도는 증가하고, Si (200)면에 대한 회절강도는 감소하여 500 °C에서 MgO (200)면에 대한 회절강도는 최대치를 보였으며, 그 이상의 기판온도에서는 다시 감소하는 경향을 보였다. 박막의 증착은 기판에 흡착된 Mg 분자 혹은 Mg와 O 원자가 탈리(extraction)되기 전에 기판위에서 이동하여 에너지적으로 안정한 격자위치를 찾아가는 과정이라고 볼 수 있다. 기판에 흡착된 입자가 탈리되기 전까지 기판위에서

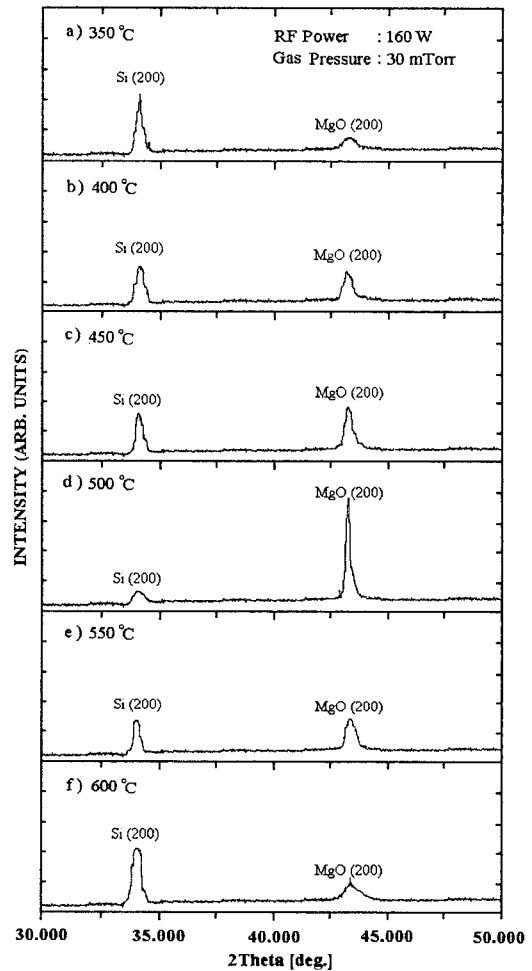


그림 2. 기판온도에 따른 MgO 박막의 XRD 결과  
Fig. 2. XRD patterns of the MgO thin films as a function of substrate temperature.

존재할 수 있는 시간은 온도가 증가할수록 지수함수적으로 감소하게 된다<sup>[7]</sup>. 기판의 온도가 증가하면 입자의 이동도는 증가하고, 이러한 입자가 안정한 격자위치를 찾아갈 확률이 증가하므로 박막의 결정화가 촉진된다<sup>[5,7]</sup>. 그러나 더 높은 기판온도에서는 이러한 입자들이 안정한 격자위치로 이동하기 전에 탈리가 일어날 확률이 증가하기 때문에 박막의 결정화가 감소하는 것으로 생각된다<sup>[5,7]</sup>.

### 3. 분위기 압력에 따른 MgO 박막의 XRD 결과

그림 3은 분위기 압력에 따른 MgO 박막의 XRD 결과를 나타낸 것이다. MgO 박막의 a축 배향성 및 회절강도는 분위기 압력의 증가에 따라 더 우수한 특성을 보였으며, 30 mTorr에서 가장 우수한 특성을 보였다. 그 이상의 압력에서는 회절강도가 감소하고 결정배향성이 나빠졌다. 이는 산란효과로 인하여 산란된 원자가 다른 방향으로 반사되어 기판까지 도달하지 못하거나 초기 에너지를 잃게 되어 낮은 에너지를 가진 입자가 증착에 참여하기 때문에 결정화가 나빠지게 된다고 생각된다<sup>[7]</sup>.

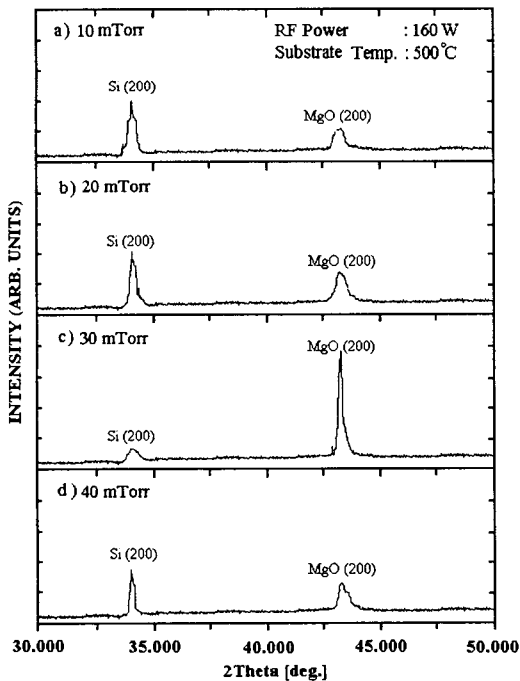


그림 3. 분위기 압력에 따른 MgO 박막의 XRD 결과  
Fig. 3. XRD patterns of the MgO thin films as a function of gas pressure.

### 4. 기판에 따른 MgO 박막의 XRD 결과

그림 4는 가장 우수한 특성을 나타낸 Si, SiO<sub>2</sub> 및 N/O/N/Si 기판에 따른 MgO 박막의 XRD 결과를 비교한 것이다. N/O/N/Si 판위에 증착된 MgO 박막의 경우 가장 우수한 (200) 배향성 및 sharpness한 회절강도를 보였다. 그림 4에서 알 수 있듯이 성장된 MgO 박막은 Si, SiO<sub>2</sub> 또는 N/O/N/Si 판에 관계없이 a축 배향성을 나타내었다.

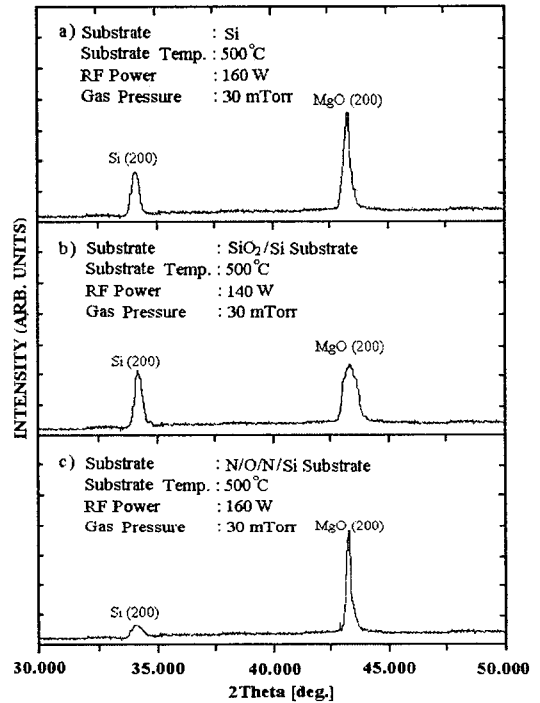


그림 4. 기판에 따른 MgO 박막의 XRD 결과  
Fig. 4. XRD patterns of the MgO thin films as a function of substrate.

### 3.2. Pt/MgO 박막위에 증착된 PLT 박막의 XRD 결과

그림 5는 그림 1, 2 및 3의 결과를 토대로 다양한 증착조건에서 성장된 MgO 박막위에 Pt 하부전극을 증착시키고, 그 위에 PLT 박막을 성장시킨 경우에 대한 XRD 결과를 비교한 것이다. 이때 Pt 하부전극과 PLT 박막 성장조건은 표 2 및 3과 같이 일정하게 고정시켰다. 500 °C의 기판온도, 160 W의 RF power 및 30 mTorr의 분위기 압력에서 성장된 MgO 박막위에 성장된 PLT 박막은 MgO 단결정 기판위에 성장된 PLT 박막과도 거의 유사한 c축 배향성을 보였다. 기판온도

와 RF power가 같고, 20 mTorr의 분위기 압력에서 성장된 MgO 박막위에 성장된 PLT 박막의 경우 (100)면의 XRD 피크만 관찰되었고, (100)면과 (001)면이 분리된 피크는 관찰할 수 없었다. 이러한 이유는 PLT 박막의 단위 격자가 피크의 분리가 검출되지 못할 방향으로 정렬되어 있기 때문이라고 생각된다<sup>[2-3,5]</sup>.

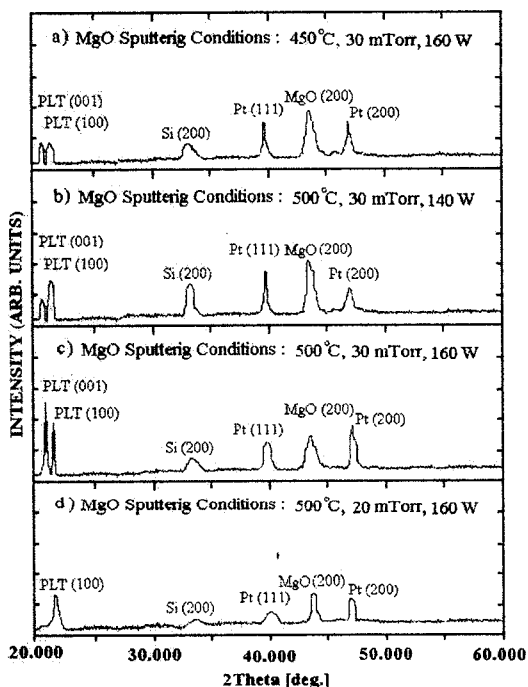


그림 5. Pt/MgO/N/O/N/Si 기판위에 증착된 PLT 박막의 XRD 결과

Fig. 5. XRD patterns of PLT thin films sputtered on the Pt/MgO/N/O/N/Si substrates.

#### IV. 결론

본 연구에서는 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si(N/O/N/Si) 판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 MgO 박막을 성장하여 초전형 적외선 센서용 기판을 제작하였다. 스트레스 균형이 이루어진 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 멤브레인으로 뒷면 식각이 용이하도록 하였고 그 위에 단결정과 유사한 MgO 박막을 성장시킴으로써 PLT 박막의 c축 배향성을 향상시킬 수 있었다.

MgO 박막은 Si, SiO<sub>2</sub> 또는 N/O/N/Si 판에 관계없이 비슷한 결정배향성을 나타냈으며 특히 500 °C의 기판 온도와 30 mTorr의 분위기 압력 및 160 W의 RF

power에서 N/O/N/Si 판 위에 성장하였을 때 가장 우수한 결정배향성을 나타내었다. 또, Pt/MgO/N/O/N/Si 기판위에 성장된 PLT 박막은 MgO 단결정 기판위에 성장된 PLT 박막과 거의 유사한 c축 배향성을 보였다.

본 연구는 1998년도 학술진흥재단 자유공모과제 반도체분야 학술연구조성비 (1998-001-E00654) 및 1997년도 부경대학교 기성회 학술연구 조성비에 의하여 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] J. Senzaki, O. Mitsunaga, T. Uchida, T. Ueno and K. Kuroiwa, "Fabrication of c-axis Oriented Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Thin Films on Si(100) Substrates Using MgO Intermediate Layer", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 35, no. 8, pp. 4195~4198, 1996.
- [2] J. Senzaki, K. Kurihara, N. Nomura, O. Mitsunaga, "Characterization of Pb(Zr,Ti)O<sub>3</sub> Thin Films on Si Substrates Using MgO Intermediate Layer for Metal/Ferroelectric/Insulator/Semiconductor Field Effect Transistor Devices", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 37, no. 9B, pp. 5150~5153, 1993.
- [3] Y. Kaneko, N. Mikoshiba and T. Yamashita, "Preparation of MgO Thin Films by RF Magnetron Sputtering", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 30, no. 5, pp. 1091~1092, 1991.
- [4] S. Kim and S. Baik, "Effects of surface structures of MgO(100) single crystal substrates on ferroelectric PbTiO<sub>3</sub> thin films grown by radio frequency sputtering", *J. Vac. Sci. Technol. A*, vol. 13, no. 1, pp. 95~100, 1995.
- [5] 김종희, "적외선 감지용 초전센서 및 어레이 제조", 한국과학기술처 2, 3년차 보고서, pp. 3~40, 1997.
- [6] 최준립, "마이크로 가공기술을 이용한 강유전체

- 박막 초전형 적외선 센서”, 대한전자공학회지, D  
 편 제35권, 제4호, pp. 403~410, 1998.
- [7] 이영준, 백성기, “Reactive RF 마그네트론 스퍼터링법으로 Si(100) 기판에 MgO 박막 제조시 증착변수의 영향” 한국 세라믹 학회지, 제31권, 제6호, pp. 643~650 1994.
- [8] 김명규, 박동수, 김창원, 김진섭, 이정희, 이종현, 손병기, “스트레스균형이 이루어진  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$  유전체 멤베레인의 제작”, 한국센서학회지, 제4권, 제3호, pp. 51~59, 1995.
- [9] N. Nagao, T. Takeuchi and K. Iijima, “Preparation and Properties of (Pb, La)TiO<sub>3</sub> Pyroelectric Thin Films by RF-Magnetron Sputtering”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 32, no. 9B, pp. 4065~4068, 1993.
- [10] R. Takayama, Y. Tomita, K. Iijima and I. Ueda, “Preparation and characteristics of pyroelectric infrared sensors made of c-axis oriented La-modified PbTiO<sub>3</sub> thin films”, *J. Appl. Phys.*, vol. 61, no. 1, pp. 411~415, 1987.
- [11] T. Ogawa, A. Senda and T. Kasanmi, “Controlling the Crystal Orientations of Lead Titanate Thin Films”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 30, no. 9B, pp. 2145~2148, 1991.
- [12] K. Komaki, T. Kamada, S. Hayashi, M. Kitagawa, R. Takayama and T. Hirao, “Preparation of pyroelectric  $\text{Pb}_{1-x}\text{La}_x\text{Ti}_{1-x/4}\text{O}_3$  thin films from cramic target by RF magnetron sputtering”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 33, no. 3B, pp. L443~L446, 1994.
- [13] M. Kobune, S. Fujii, R. Takayama and A. Tomozawa, “Preparation and Pyroelectric Properties of (Pb, La)(Zr, Ti)O<sub>3</sub> (PLZT) Thin Films”, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 35 no. 9B, pp. 4980~4983, 1996.
- [14] R. Takayama, Y. Tomita, K. Iijima and I. Ueda, “Pyroelectric linear array infrared sensors made of c-axis oriented La-modified PbTiO<sub>3</sub> thin films”, *J. Appl. Phys.*, vol. 63, no. 12, pp. 5868~5872, 1988.

---

## 著 者 紹 介

---

### 김 성 우

『센서학회지 제9권 제1호』 논문2000-9-1-06, p.43참조  
 현재 동국산업(주) 기능성 세라믹 GA 연구팀 연구원



### 성 세 경

1973년 3월 29일생  
 1999년 부경대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1999년~ 현재 부경대학교 전자공학과 석사과정  
 주관심분야 : 반도체 센서(가스 센서, 적외선 센서), 마이크로머시닝 기술, 강유전 메모리, 태양전지

### 최 우 창

『센서학회지 제9권 제1호』 논문2000-9-1-06, p.43참조  
 현재 부경대학교 전자공학과 박사과정

### 최 혁 환

『센서학회지 제9권 제1호』 논문2000-9-1-06, p.43참조  
 현재 부경대학교 전자·정보통신공학부 교수

### 이 명 교

『센서학회지 제9권 제1호』 논문2000-9-1-06, p.43참조  
 현재 부경대학교 전자·정보통신공학부 교수

### 류 지 열

『센서학회지 제9권 제1호』 논문2000-9-1-06, p.43참조  
 현재 부경대학교 전자·정보통신공학부 시간강사

### 권 태 하

『센서학회지 제9권 제1호』 논문2000-9-1-06, p.43참조  
 현재 부경대학교 전자·정보통신공학부 교수