

## BaMgF<sub>4</sub> 박막을 이용한 MFSFET 특성의 전극의존성

### Electrode dependences of MFSFET Characteristics using BaMgF<sub>4</sub> Thin Films

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

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

Electrical properties of metal-ferroelectric-semiconductor field effect transistor(MFSFET) using BaMgF<sub>4</sub> thin films grown on p-Si(100) substrates have been investigated. BaMgF<sub>4</sub> thin films have been directly deposited on the p-Si(100) wafers at a low temperature of 300 °C in an ultra high vacuum(UHV) system. First an *in-situ* post-deposition annealing was conducted for 20s at 650 °C and second an *in-situ* post-annealing was conducted for 10s at 950 °C. The electrical properties of MFSFET compared with using Al and Pt electrodes.

**Key Words(중요용어)** : BaMgF<sub>4</sub> thin films (BaMgF<sub>4</sub> 박막), ferroelectric film (강유전체 박막), ultra high vacuum (초고진공), FRAM(강유전체 메모리)

#### 1. 서론

MFSFET(Metal-Ferroelectric-Semiconductor Field-Effect-Transistor)<sup>1)</sup> 디바이스는 반도체 위에 강유전체 박막을 성장시켜 만든 것으로서 차세대 메모리인 FRAM<sup>2)</sup>의 구현에 중요한 핵심부품 뿐만 아니라 기능성 Neuron Device 응용에도 기대가 되고 있다. 특히 FRAM은 강유전체 박막의 분극반전과 그 히스테리시스 특성을 이용한 고속, 저소비전력, 데이터의 비휘발성 등의 장점을 가지고 있어 현재 국내외에서 많은 연구개발이 이루어지고 있다. 이러한 장점에도 불구하고 현재까지 개발이 지연되는 이유는 여러 가지 문

제점들을 내포하고 있기 때문이다. 대표적인 예로, 구조적으로는 반도체 위에 직접적으로 강유전성 박막을 성장시켜야하며, FET 동작을 하기 위해서는 강유전체와 반도체 계면간의 계면준위 밀도가 적어야만 한다. 또한 MFSFET의 전기적 특성면에서는 Rewrite Cycle 증가에 따른 박막의 피로현상(Fatigue)<sup>3)</sup>, 시간에 따른 드레인 전류의 감소 등에서 아직도 해결해야할 많은 문제들이 있다.

본 연구에서는 BaMgF<sub>4</sub> 박막을 이용하여 MFSFET를 구현하였으며, 상부전극으로 Al전극과 Pt전극을 각각 사용하였다. 이들 두 가지 전극에 따른 MFSFET 디바이스의 전기적 특성이 어떻

게 변화하는지를 논할 것이며, RTA(Rapid Thermal Annealing) 조건변화에 따른 MFS 디바이스의 특성에 관해서도 논할 것이다.

## 2. 실험 및 결과

### 2.1 MFSFET의 제작

그림 1은 BaMgF<sub>4</sub>를 이용한 MFSFET의 제작 순서를 나타낸 것이다. 저항률이 5~8Ω·cm인 boron이 도핑된 p-Si(100) 기판을 유기세정 및 표준 RCA법<sup>4)</sup>을 이용하여 세척한 후 시료준비실이 설치된 초고진공장치(UHV) 시스템에서 BaMgF<sub>4</sub>막을 증착시켰다. 그림 2는 UHV 시스템의 개략도를 나타낸 것이다. UHV의 진공도는 5×10<sup>-8</sup> Torr 이하이며 BaMgF<sub>4</sub>막은 BaF<sub>2</sub>(99.99%)와 MgF<sub>2</sub>(99.999%)의 알갱이를 같은 조성으로 혼합하여 열적으로 가열하여 증착시켰다. 증착율은 0.1~0.2 nm/sec 정도이며 300 °C 이하에서 BaMgF<sub>4</sub>막을 150nm 이하로 성장시킨 후 *in-situ*에서 650 °C, 20 s 동안 단시간 고온 열처리를 행한 후 다시 *in-situ*에서 950 °C, 10 s 동안 단시간 고온 열처리를 행하였다. RTA가 끝난 기판을 열적 증착기(Thermal Evaporator)를 이용하여 Al전극을, E-beam을 이용하여 Pt전극을 각각 증착하였다.

### 2.2 MFSFET의 전극의 조성

그림 3은 MFSFET에서 제작된 MFS 커패시터의 1MHz C-V특성곡선을 나타낸 것이다. 실선이 *in-situ* 650°C에서 20 s 동안 RTA처리를 한 후 다시 *in-situ* 950°C에서 10 s 동안 RTA처리를 한 후 Al전극을 증착하여 측정한 1MHz C-V특성곡선이고 파선은 RTA조건은 동일하나 전극을 Pt로 증착하여 측정한 1MHz C-V특성곡선이다. 그림에서 보듯이 Pt전극을 증착한 MFS 커패시터의 C-V가 Al전극을 증착한 MFS 커패시터의 C-V에 대해 오른쪽으로 이동한 것을 알 수 있다. 이것은 Al전극과 Pt전극의 일함수차에 기인하는 것으로 판단된다.

그림 4는 Al전극과 Pt전극을 각각 증착한 MFS 커패시터의 누설전류밀도 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 실선이 Al전극을 증착한 것이며, 파선

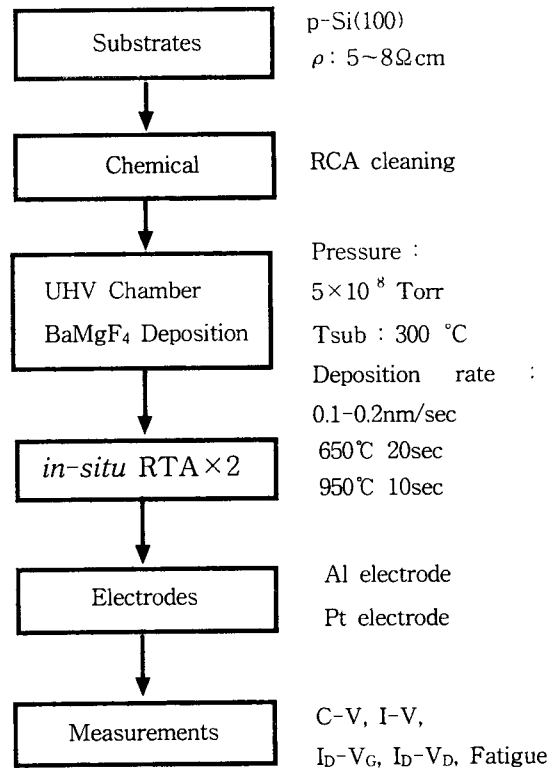


그림 1. 실험 순서도.

Fig 1. Flow chart of the experiment.

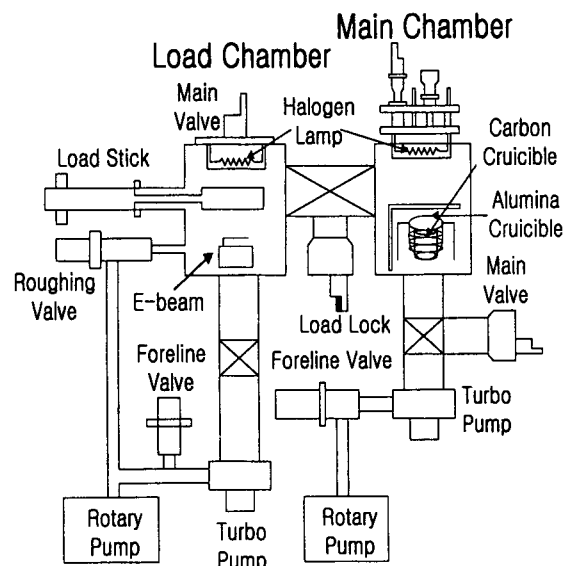


그림2. UHV system의 개략도.

Fig 2. Schematic of UHV system.

이 Pt전극을 증착한 것이다. 그림에서 보듯이 Pt 전극을 증착했을 때의 경우가 약 1 order정도 좋은 것을 알 수 있다.

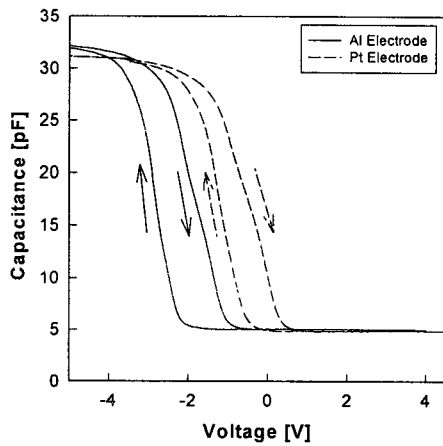


그림 3. MFS 커패시터의 1MHz C-V특성.  
Fig 3. 1MHz C-V characteristics of MFS capacitor.

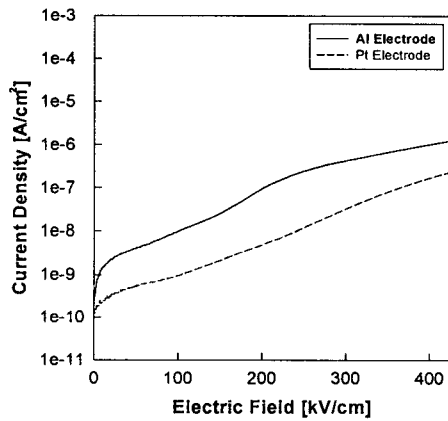


그림 4. MFS 커패시터의 I-V 특성.  
Fig 4. Current-Voltage characteristics of MFS capacitor.

그림 5에 MFSFET의 선형영역( $V_D=0.1V$ )에서의 드레인 전류-게이트 전압 ( $I_D-V_G$ )특성을 나타냈다. BaMgF<sub>4</sub>막의 강유전성으로 인하여 히스테리시스 특성이 관측됨을 알 수 있으며, 이는 비휘발성 메모리 동작에 적용할 수 있는 가능성을 보

인 것이다. C-V특성곡선에서 나타난 것처럼 드레인 전류-게이트 전압 특성에서도 Pt전극을 증착한 FET가 양의 방향으로 이동한 것을 관측할 수 있었으며, 현재로서 원인은 분명하게 확인할 수 없지만 일함수차에 기인하는 것으로 판단되어진다.

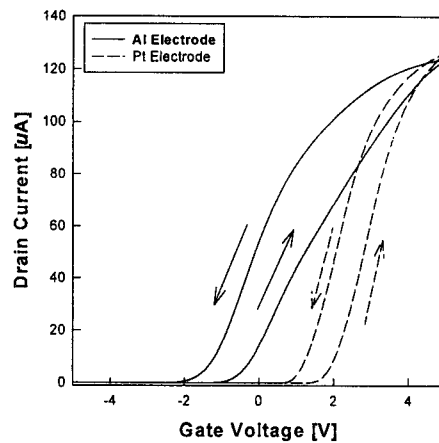


그림 5. MFSFET의 드레인 전류-게이트 전압특성.

Fig 5. The  $I_D-V_G$  characteristics of the MFS-FET.

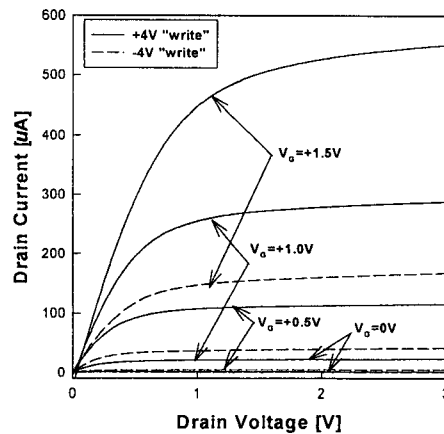


그림 6. MFSFET의 드레인 전류-드레인 전압특성.

Fig 6.  $I_D-V_D$  characteristics of MFSFET

그림 6은 Al전극을 증착한 MFSFET의  $I_D-V_D$  특성곡선을 나타낸 것이다. 실선과 파선은 각각 게이트에 +4V 및 -4V의 write 전압을 1초 동안 인가한 후 측정한 전류-전압 곡선이다. 게이트 전압은 0V에서 1.5V까지 0.5V step이다. 그중  $V_D$ 가 3V에서 write, read 전압을 각각 +4V, 0V를 인가한 경우 드레인 포화전류  $I_{DS}$ 는  $22.8\mu A$ (ON상태)이었고, 반면 -4V, 0V를 인가한 경우에는  $I_{DS}$ 가 21nA(OFF상태)이었다. 이것은 read 전압 0V에서 ON상태의 드레인 전류는 OFF상태의 전류보다 약 3 order정도 증가했음을 알 수 있다. 이것은 같은 read 전압 0V에 대해서 미리 인가한 write 전압의 극성을 바꿈으로써 강유전체 BaMgF<sub>4</sub> 박막의 분극이 반전되어 소스-드레인간의 채널이 ON에서 OFF로 변했음을 의미한다. 즉, 이것은 MFSFET가 메모리로서 동작하는 것을 의미한다.

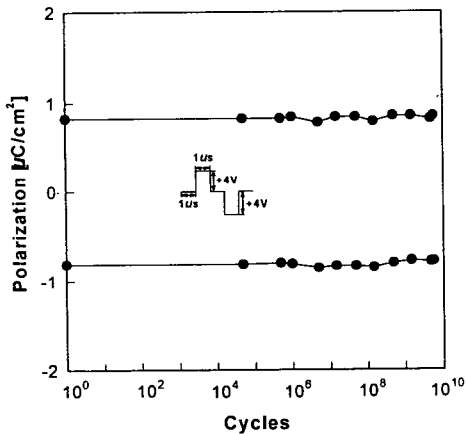


그림 7. 스위칭 주기에 따른 잔류분극.

Fig 7. The remanent polarization of the films as a function of number of switching cycles.

그림 7은 Al전극을 증착한 MFM구조에서 RT-66A를 이용하여 측정한 잔류분극 특성이다. 초기 잔류분극 값이  $0.83\mu C/cm^2$ 이었는데,  $10^{10}$  cycle이 지난 후에도 초기 잔류분극 값과 거의 동일한 값을 유지하고 있다.

### 3. 결론

BaMgF<sub>4</sub>의 융점은 865°C로 알려져 있으나<sup>5)</sup> 본

실험에서는 950°C까지 열처리를 행하여도 BaMgF<sub>4</sub> 박막이 강유전성을 유지한다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 diffusion과 같은 고온 공정에서도 BaMgF<sub>4</sub> 박막이 강유전성을 유지할 수 있다는 가능성을 보이는 것이라 판단할 수 있다. C-V특성곡선에서 Pt곡선이 Al곡선에 비해 양의 방향으로 이동하는 것은 일함수의 차이라고 판단된다. Al전극을 증착한 MFSFET의 드레인 전류-게이트 전압 특성곡선에서 측정된 Al의 상호컨덕턴스는 약  $90\mu S/mm$ , 전자의 전계효과 이동도는 약  $460cm^2/V \cdot s$ 이었으며, 스위칭 주기에 따른 잔류분극 값이  $10^{10}$  cycle이 지난 후에도 초기 잔류분극 값과 거의 동일한 값을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

### 참고문헌

1. J. L. Moll and Y. Tauri. "A new solid state memory resistor." IEEE Trans. Electron Devices. vol. 10. 1963. pp.338-339.
2. J. F. Scott and D. A. Paz de Araujo. "Ferroelectric memories." Science, vol. 246, p.1400 December 1989.
3. R. Ramesh, W. K. Chan, B. Wilkens, H. Gilchrist, T. Sands, J. M. Tarascon, V. G. Keramidas, D. K. Fork and J. Lee, A. Safari, "Fatigue and retention in ferroelectric Y-Ba-Cu-O/Pb-Zr-Ti-O/Y-Ba-Cu-O heterostructures", Appl. Phys. Lett., 61 (1992) 1537.
4. 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.
5. S. Sinharoy, H. Buhay, M. G. Burke, D. R. Lampe, and T. M. Pollak, "Growth and the Microstructural and Ferroelectric Characterization of Oriented BaMgF<sub>4</sub> Thin Films", IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Contr., vol. 38, no. 6, pp. 663-671, Nov. 1991.