

## LiNbO<sub>3</sub>/AlN 구조를 이용한 MFIS 커패시터의 제작 및 특성

### Fabrications and properties of MFIS capacitor using LiNbO<sub>3</sub>/AlN structure

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

#### Abstract

Metal-ferroelectric-insulator-semiconductor(MFIS) devices using Pt/LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si structure were successfully fabricated. The dielectric constant of the AlN film calculated from the capacitance in the accumulation region in the capacitance-voltage(C-V) curve was about 8.2. The gate leakage current density of MIS devices using a aluminum electrode showed the least value of  $1 \times 10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup> order at the electric field of 500kV/cm. The dielectric constant of LiNbO<sub>3</sub> film on AlN/Si structure was about 23 derived from 1MHz capacitance-voltage (C-V) measurement and the resistivity of the film at the field of 500kV/cm was about  $5.6 \times 10^{13}$  Ω · cm

**Key Words(중요용어)** : AlN thin films(Aluminum nitride 박막), MFIS(금속/강유전체/절연체/반도체)  
Ferroelectric oxide LiNbO<sub>3</sub> (산화물계 강유전체 LiNbO<sub>3</sub>)  
Nonvolatile memory (비휘발성 메모리),

#### 1. 서론

MFSFETs(Metal-ferroelectric-semiconductor field effect transistor)<sup>1)</sup>는 강유전체 물질의 분극반전과 그 히스테리시스 특성을 이용한 소자인데, 이 MFS-FET를 이용한 비휘발성 강유전체 메모리(non-volatile FeRAM)에 대한 연구가 국내외적으로 활발하게 진행되고 있다. 이 메모리는 빠른 스위칭 속도에 의한 고속구동이 가능하고, 데이터의 비휘발성으로 인한 저소비전력화를 실현할 수 있는 장점을 갖는다. 그런데 MFS 구조에서는 강유전체 물질을 실리콘 위에다 직접 형성시킨 상태이므로 Si 기판과 강유전체 물질 사이의 계면에서 반응(Mobile ions의

발생과 low retention)이 일어나기 때문에 우수한 강유전성을 얻기가 어렵다는 단점<sup>2)~3)</sup>이 있다. 따라서 MFSFET의 게이트 절연물질로서 양호한 계면 특성과 우수한 결정의 박막을 얻기위해 강유전체 박막과 Si 사이에 절연층을 삽입한 MFISFET(Metal-ferroelectric-semiconductor field-effect-transistor)구조에 대한 연구가 활발히 진행중이다.

본 논문에서는 절연층으로 AlN 박막을 사용하였다. 절연층로서 사용된 AlN은 넓은 에너지 밴드 갭(6.2eV)과 Si과의 열팽창 계수가 거의 비슷하고 열적 부정합이 작기 때문에 절연물질로서 적합한 재료로 인식되고 있다<sup>4)~5)</sup>. AlN을 성장하는 방법으로는 PECVD, MBE, 스퍼터링등의 다양한 방법이 이용되어지고 있는데, 특히 Si 소자의 열적기판손상을 피하기 위해 낮은 온도에서 막을 증착할수 있는 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다.

\* 청주대학교 일반대학원 전자공학과  
(충북 청주시 상당구 내덕동 36번지 청주대학교,  
FAX : 0431-229-8432, E-mail : chic2ny@hanmail.net)  
\*\* 청주대학교 전자·정보통신·반도체공학부  
\*\*\* 한국전자통신연구원

본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 AlN 박막을 Si 기판위에 400℃에서 증착하였으며, 그 절연층 위에 산화물계 강유전체인 LiNbO<sub>3</sub> 박막을 증착하여 buffer층이 삽입된 MFIS 구조를 성공적으로 구현하였다. 이렇게 제작된 AlN 절연층과 LiNbO<sub>3</sub> 박막에 대해 구조적, 전기적 특성을 평가하였다. 그 결과를 논의하고자 한다.

## 2. 실험 및 결과

### 2.1 AlN/Si 구조의 제작 및 특성

AlN/Si 구조의 특성을 평가하기 위해 본 실험에서는 13.56MHz RF 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 저항률이 5~8Ω·cm인 boron이 도핑된 p-type Si(100) 기판위에 AlN 박막을 증착하였다. 먼저 유기 세정법과 RCA법<sup>6)</sup>으로 Si 웨이퍼 표면을 세척한 후 희석된 HF 용액에 담구어 실리콘 자연산화막을 제거하였다. 이렇게 처리한 기판을 챔버 내부에 장착하였다. AlN 박막 증착에는 순도가 99.99%, 크기가 3인치인 Al 타겟을 사용하였다. 박막 증착조건은 RF power는 100W로 고정하고, 반응 gas의 압력은 10mTorr, 타겟과 기판과의 거리 55mm인 상태에서 실험하였다. 반응 gas로는 Ar과 N<sub>2</sub>를 1:2의 비율로 사용하였는데 그 양은 각각 50, 100sccm으로 고정하고, 기판 온도 400℃에서 0.01~0.02nm/s의 증착 속도로 200Å의 AlN을 증착하였다. 이렇게 제작된 AlN/Si(100) 구조를 가지고 전기적 특성평가와 구조적 특성평가를 병행하였다. 박막의 구조적 평가에는 XRD를 사용하였으며, 전기적

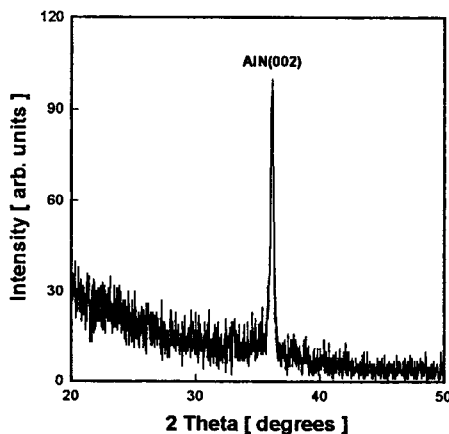


그림 1. AlN/Si(100) 구조의 XRD 패턴  
Fig 1. XRD pattern of AlN/Si(100) structure

특성 평가에는 HP 4140B와 HP 4192A를 이용하여 I-V, C-V 특성을 평가하였다.

그림 1은 AlN/Si(100) 구조의 XRD 패턴을 보인 것이다. 그림에서 보는바와 같이 AlN(002) 피크가 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 AlN이 poly화되었음을 의미하는 것이다.

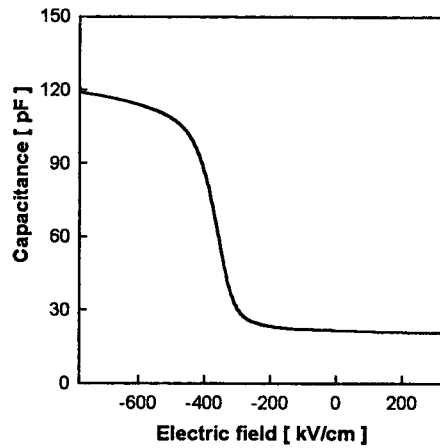


그림 2. AlN/Si(100) 구조를 갖는 MIS 커패시터의 1MHz C-V 특성곡선  
Fig 2. 1MHz C-V characteristic curve of MIS capacitor with AlN/Si(100) structure

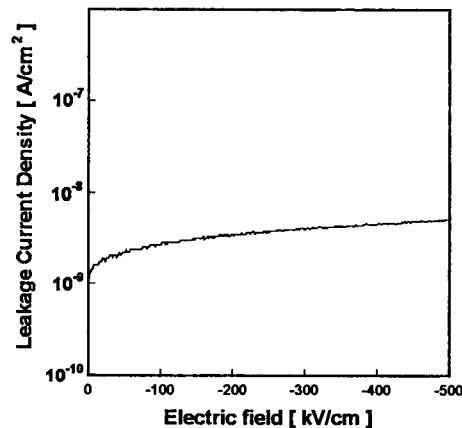


그림 3. AlN/Si(100) 구조를 갖는 MIS 커패시터의 게이트 누설전류밀도  
Fig 3. Gate leakage current density of MIS capacitor with AlN/Si(100) structure

그림 2는 AlN/Si(100) 구조를 갖는 MIS 커패시터의 1MHz C-V 특성곡선을 나타낸 것이다. 양호한 인터페이스 특성을 보이고 있으며, accumulation 영역에서 산출한 AlN 박막의 유전상수 값은 약 8.2였으며 이 값은 벌크의 유전상수 값(8.5)과 거의 일치함을 알 수 있다

그림 3은 AlN/Si(100) 구조를 갖는 MIS 커패시터의 게이트 누설전류밀도를 측정된 것이다. 그림에서 보면 누설전류가 가해진 전계가 500kV/cm일 때  $10^{-8}$  A/cm<sup>2</sup> 이하로 매우 우수함을 알 수 있다. 이때의 저항율을 계산하면  $9.5 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 이다.

## 2.2 Pt/LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si(MFIS) 구조의 제작 및 특성

그림 4는 MFIS 구조의 제작 순서도를 나타낸 것이다. AlN/Si(100) 구조의 웨이퍼를 이용하여 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 LiNbO<sub>3</sub> 박막을 증착하였다<sup>7)</sup>. LiNbO<sub>3</sub> 박막은 기판온도 700°C에서 0.01~0.02nm/s의 증착 속도로 1000Å을 증착하였다. 반응 gas는 Ar과 O<sub>2</sub>를 80:20sccm으로 사용하였다. 이렇게 형성된 LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si 기판에 E-beam을 이용

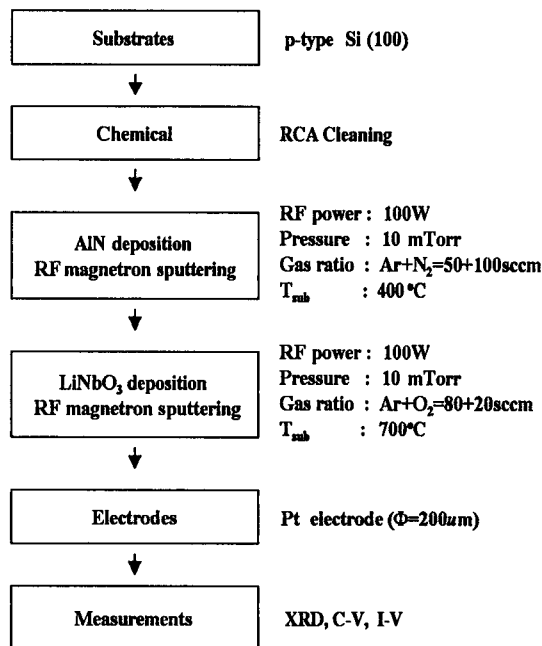


그림 4. MFIS capacitor의 제작 공정 순서도

Fig 4. Fabrication process flow chart of MFIS capacitor

하여 Pt전극을 증착하여 MFIS 구조를 완성하였다.

그림 5는 Pt/LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si 구조를 갖는 MFIS 커패시터의 1MHz C-V 특성곡선을 보인 것이다. 양호한 interface 특성을 보이고 있으며, LiNbO<sub>3</sub> 박막의 강유전성으로 인한 히스테리시스 특성을 보이고 있으나 메모리 window가 매우 작게 관측됨을 확인할 수 있다. 현재로서는 정확한 원인은 알 수 없으나 박막 증착시 기판 온도를 높이는 방법과 열처리 방법 등에 의해 개선 가능성이 있는 것으로 판단된다. 1MHz C-V 특성곡선의 축적상태로부터 계산한 LiNbO<sub>3</sub> 박막의 유전상수는 약 23이었다.

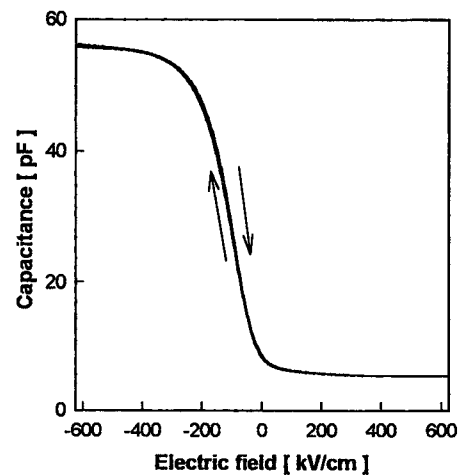


그림 5. Pt/LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si 구조를 갖는 MFIS 커패시터의 1MHz C-V 특성곡선

Fig 5. 1MHz C-V characteristic curve of MFIS capacitor with Pt/LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si structure

그림 6은 MFIS 커패시터의 게이트 누설전류밀도를 보인 것이다. 참고로 MFS 구조에서의 게이트 누설전류밀도를 함께 나타냈는데, 그래프에서 보는 바와 같이 MFIS 구조에서의 게이트 누설전류밀도가 MFS 구조에서의 게이트 누설전류밀도보다 가해진 전계가 500kV/cm일 때 1 order 이상 우수함을 알 수 있다. 이때의 저항율을 계산하면 MFS 구조가  $2.5 \times 10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$ , MFIS 구조가  $5.6 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 이다. 이와 같은 특성이 나타난 이유는 buffer층으로 사용한 AlN 박막의 누설전류밀도 특성이 우수하고 그 구조 또한 LiNbO<sub>3</sub>와 같은 hexagonal이기 때문에 그 위에 형성된 강유전체 박막에서의 누설전류밀도 또한 우수한 것으로 판단된다.

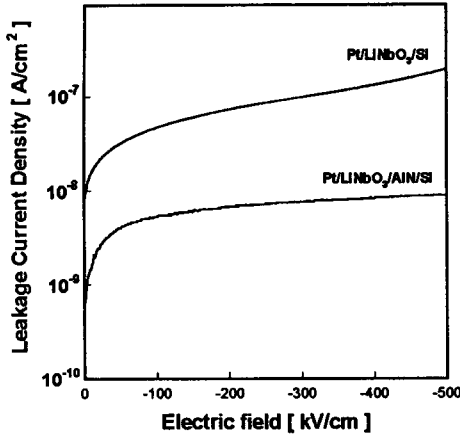


그림 6. Pt/LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si(100) 구조를 갖는 MFIS 커패시터의 게이트 누설전류<sup>8)</sup>

Fig 6. Gate leakage current of MIS capacitor with Pt/LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si(100) structure

### 3. 결론

스퍼터링법을 사용하여 buffer층이 삽입된 Pt/LiNbO<sub>3</sub>/AlN/Si 구조의 MFIS 커패시터를 성공적으로 구현했으며, 비휘발성 메모리로서의 응용 가능성을 확인하였다. buffer층으로 사용한 AlN 박막의 특성을 확인하기 위하여 MIS 구조를 제작하여 그 특성을 확인한 결과 1MHz C-V 특성곡선의 측정상태로부터 계산한 AlN 박막의 유전상수 값이 약 8.2로 나타났으며, 게이트 누설전류밀도는 전계 500kV/cm에서 10<sup>-8</sup>A/cm<sup>2</sup> 이하로 측정되었다. 이를 바탕으로 제작한 MFIS 구조에서의 게이트 누설전류밀도는 MFS 구조에서의 누설전류밀도보다 가해진 전계가 500kV/cm일 때 약 1 order 이상 우수함을 알 수 있었다. 이때의 MFIS 구조에서의 저항율을 계산하면 5.6×10<sup>13</sup> Ω·cm 이다. C-V 특성 곡선을 보면 양호한 interface 특성과 LiNbO<sub>3</sub> 박막의 강유전성으로 인한 히스테리시스 특성을 보임을 확인할 수 있으나, 메모리 window 값이 아주 작았다. 현재로서는 정확한 원인은 알 수 없으나 박막 증착시 기판 온도를 높이는 방법과 열처리 방법 등에 의해 개선 가능성이 있는 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구원의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. S.-Y. Wu, "A New Ferroelectric Memory Devices, Metal - Ferroelectric - semiconductor Transistor", IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-21, No. 8, pp. 499-504, Aug. 1974.
2. Y. Matsui, M. Okuyama, M. Noda and Y. Hamakawa, Appl. Phys., A28, p 161, 1982
3. D. R. Lampe, D. A. Adams, M. Austin, M. Polinsky, J. Dzimianski, S. Sinhaloy, H. Buhay, P. Brabant and Y. M. Liu, Ferroelectrics, 133, p61, 1992
4. K.-S. Kim, Y.-H. Hwang, H.-D. Kim, C.-W. Nam, G.-C. Lee "Structural and Electrical Characteristics of AlN Thin Film using RF Magnetron Sputtering", J. of KIEEME, Vol. 12, No. 10, pp. 887-895, 1999
5. C. L. Aardahl, J. W. Rogers Jr., H. K. Yun, T. Ono, D. J. Tweet, S.-T. Hsu "Electrical properties of AlN thin films deposited at low temperature on Si(100)", Thin Solid Films, 346, pp. 174-180, 1999
6. K. Werner, and D. A. Puotinen, "Cleaning Solutions Based on Hydrogen Peroxide for use in Silicon Semiconductor Technology", RCA Review. 31., pp. 187-206, June. 1970.
7. K. H. Kim, C. G. Kim, S. W. Jung, S. W. Lee, J. S. Lyu, B. G. Yu and W. J. Lee, "Metal - Ferroelectric - Semiconductor(MFS) FET's Using LiNbO<sub>3</sub>/Si(100) Structures For Nonvolatile Memory Application", 1998 Int. workshop on Advanced LSIs, Sapporo, Japan, July 23-24, 1998, Proceedings, pp. 193-197
8. Kwang-Ho Kim, Soon-Won Jung, Chae-Gyu Kim, Byoung-Gon Yu and Won-Jae Lee, "Properties of MFSFETs with Various Gate Electrodes Using LiNbO<sub>3</sub>/Si (100) Structures", 1999 Int. workshop on Advanced LSIs and Devices, Pyungchang, Korea, July 22-24, 1999, Proceedings, pp. 328-333