

AlN 버퍼층을 사용한 MFIS 구조의 제작 및 특성

정순원, 김용성, 이남열, 김진규, 정상현, 김광호*, 유병곤**, 이원재**, 유인규**, 양일석**
청주대학교 전자공학과, *청주대학교 전자·정보통신·반도체공학부, **한국전자통신연구원
전화 : 043-229-8465 / 핸드폰 : 016-355-0582

Fabrications and properties of MFIS structure using AlN buffer layer

Soon-Won Jung, Yong-Seong Kim, Nam-Yeal Lee, Jin-Kyu Kim, Sang-Hyun Jeong,
Kwang-Ho Kim*, Byung-Gon Yu**, Won-Jae Lee**, In Kyu You**, Yil-Suk Yang**
Dept. of Electronic Eng., Cheongju University
*School of Electronics · Semicon. · Computer & Communication Eng., Cheongju Univ.
**Electronics and Telecommunications Research Institute
E-mail : swjung@chongju.ac.kr

Abstract

Metal-ferroelectric-insulator-semiconductor(MFIS) devices using Pt/LiNbO₃/AlN/Si structure were successfully fabricated. AlN thin films were made into metal-insulator-semiconductor(MIS) devices by evaporating aluminum in a dot array on the film surface. The dielectric constant of the AlN film calculated from the capacitance in the accumulation region in the capacitance-voltage(C-V) characteristic is 8. The gate leakage current density of MIS devices using a aluminum electrode showed the least value of $1 \times 10^{-8} \text{A/cm}^2$ order at the electric field of 500kV/cm. A typical value of the dielectric constant of MFIS device 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 $5.6 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$

I. 서론

최근 강유전체 박막을 이용하여 비휘발성 강유전체 메모리(non-volatile FRAM)에 적용하고자 하는 연구가 활발하게 전개되고 있다. 이들 재료를 사용한 비휘발성 기억소자는 강유전체 박막의 분극반전과 그 히스테리시스 특성을 이용한 빠른 스위칭 속도에 의한 고속구동, 데이터의 비휘발성으로 인한 저소비전력화를 실현할 수 있는 장점을 갖는다. 현재 DRAM의 1T/1C 구조 또는 2T/2C 구조에서 커패시터 부분을 강유전체 박막으로 대체시킨 FRAM들이 실용화되고 있는데, 이러한 구조는 셀 면적의 증가와 공정상의 복잡성 등의 문제점들이 해결되지 않고 있다. 이러한 문제점을 해결하고 나아가 한 개의 셀로서 이러한 기능을 가능케 할 수 있는 구조가 바로 MFSFET이다[1]. 그러나 MFS 구조는 실리콘 기판 위에 직접 강유전체 박막을 증착시키는 것이므로, 전기적으로 우수한 특성을 얻기 위해서는 강유전체와 반도체의 계면이 안정하여야 하며 계면 준위 밀도가 낮아야 한다. 그러나 실제 실리콘 기판 상에 강유전체 박막을 증착시키게 되면 실리콘 기판과 강유전체 물질 사이의 계면에서 반응(mobile ions의 발생과 low retention)이 일어나기 때문에 우수한 강유전성을 얻기가 어렵다[2-3]. 이러한 문제점을 해결하기 위해서

제안된 구조가 강유전체 박막과 실리콘 기판 사이에 절연층을 삽입한 MFISFET (Metal/ferroelectric/insulator/semiconductor field-effect-transistor) 구조이다. 이러한 절연물질은 실리콘과 반응하지 않고 우수한 계면 특성과 높은 유전상수를 가져야 하며, 우수한 확산방지 특성을 갖는 물질이어야 한다. 또한 고온의 공정에서도 안정하여 그 위에 증착되는 박막의 강유전 특성을 유지할 수 있어야 한다. 현재 많이 사용되는 물질로는 Y_2O_3 , CeO_2 , ZrO_2 , MgO , $SrTiO_3$ 등이 있다.

본 논문에서는 지금까지 절연물질로 사용된 적이 없는 AlN 박막을 절연 물질로 사용하고, 그 위에 $LiNbO_3$ 를 증착시켜 MFIS 구조를 형성하고 그 특성을 연구하였다. buffer층으로 사용된 AlN은 넓은 에너지 밴드 갭(6.2eV)을 가지며, Si과 열팽창 계수가 거의 일치하며 열적 부정합이 작기 때문에 절연물질로서 적합한 재료로 인식되고 있다[4-5]. 본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하여 AlN 박막을 Si 기판 위에 직접 증착시키고, 그 절연층 위에 산화물계 강유전체인 $LiNbO_3$ 박막을 증착하여 buffer층이 삽입된 MFIS 구조를 성공적으로 구현하였다. 이렇게 제작된 AlN 절연층과 $LiNbO_3$ 박막에 대해 구조적, 전기적 특성을 평가하였다.

II. 실험 및 결과

2.1 AlN/Si 구조의 제작 및 특성

본 실험에서는 13.56MHz RF 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 저항율이 $14 \sim 17 \Omega \cdot cm$ 인 boron이 도핑된 p-type Si(100) 기판위에 AlN 박막을 증착하였다. 먼저 유기 세정법과 RCA법[6]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. 기판 온도 $400^\circ C$ 에서 $0.01 \sim 0.02 nm/s$ 의 증착 속도로 200Å의 AlN을 증착하였다. 증착이 끝난 AlN 박막을 *ex-situ* 에서 $1000^\circ C$, O_2 분위기에서 3분간 고온 급속 열처리하였다. 자세한 실험 조건을 표 1에 보인다. 이렇게 준비된 AlN/Si(100) 구조를 가지고 전기적 특성평가와 구조적 특성평가를 병행하였다. 박막의 구조적 평가에는 XRD(X-ray diffraction)를 사용하였으며, 전기적 특성 평가에는 Semiconductor Parameter Analyzer (HP4145B)와 LF Impedance Analyzer(HP4192A), pA meter(HP4140B)를 사용하였다.

표 1. 스퍼터링 조건

Table 1. Sputtering condition

Deposition Parameter	AlN	$LiNbO_3$
RF input power	25W	150W
Deposition pressures	10mTorr	10mTorr
Sputtering gas ratio	Ar+N ₂ =50+100	Ar+O ₂ =80+20
Substrate temperature	$400^\circ C$	below $300^\circ C$
Target to substrate distance	55mm	55mm
RTA	$1000^\circ C$	$950^\circ C$

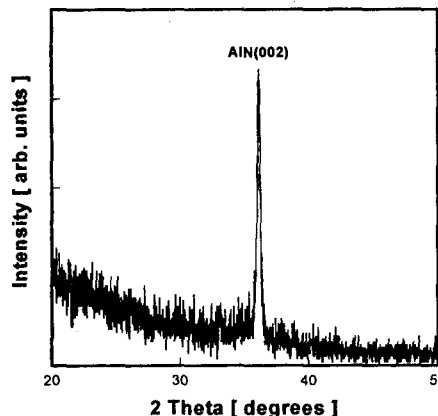


그림 1. AlN/Si(100) 구조의 XRD 패턴

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

그림 1은 $1000^\circ C$, O_2 분위기에서 3분간 고온 급속 열처리 한 AlN/Si(100) 구조의 XRD 패턴을 보인 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 AlN(002) 피크가 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이것은 AlN이 poly화 되었음을 의미하는 것이다.

그림 2는 $1000^\circ C$, O_2 분위기에서 3분간 고온 급속 열처리 한 Al/AlN/Si(100) 구조를 갖는 MIS 커패시터의 1MHz C-V 특성 곡선과 quasi-static C-V 특성 곡선을 함께 나타낸 것이다. 그래프에서 보는바와 같이 양호한 인터페이스 특성을 보임을 알 수 있다. 그래프의 accumulation 영역에서 산출한 AlN 박막의 유전상수 값은 약 8이었으며, 이 값은 벌크의 유전상수 값(8.5)과 거의 일치한다는 것을 알 수 있다.

2.2 Pt/LiNbO₃/AlN/Si(MFIS) 구조의 제작 및 특성

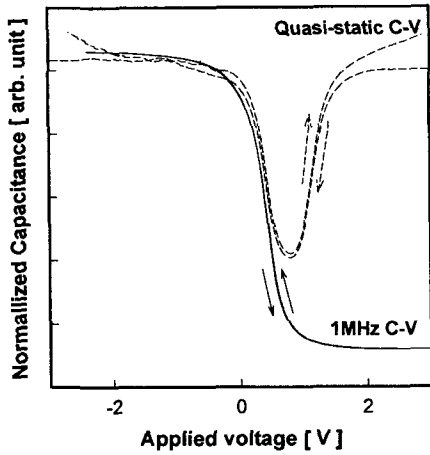


그림 2. Al/AlN/Si(100) 구조를 갖는 MIS 커패시터의 1MHz C-V 특성과 quasi-static C-V 특성곡선
 Fig 2. 1MHz C-V characteristic and Quasi-static C-V characteristic curve of MIS capacitor with Al/AlN/Si(100) structure

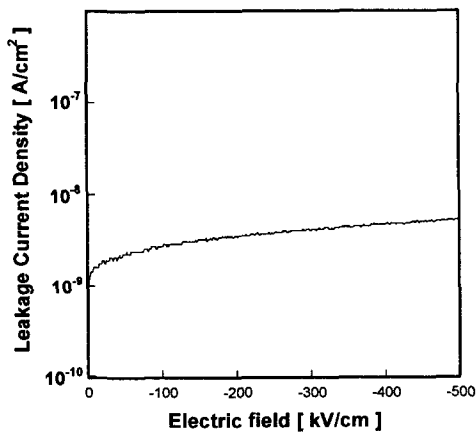


그림 3. AlN/Si(100) 구조를 갖는 MIS 커패시터의 게이트 누설전류밀도
 Fig 3. Gate leakage current density of MIS capacitor with AlN/Si(100) structure

그림 3은 Al/AlN/Si(100) 구조를 갖는 MIS 커패시터의 게이트 누설전류밀도를 측정된 것이다. 그림에서 보면 누설전류가 가해진 전계가 500kV/cm일 때 10^{-8} A/cm² 이하로 매우 우수함을 알 수 있다. 이때의 저항율을 계산하면 $9.5 \times 10^{13} \Omega \cdot \text{cm}$ 이다.

AlN/Si(100) 구조를 갖는 웨이퍼를 이용하여 RF 마그네트론 스퍼터링법으로 LiNbO₃ 박막을 증착하였다.[7] LiNbO₃ 박막은 기판온도 300℃ 이하에서 0.01~0.02nm/s의 증착 속도로 약 1000Å을 증착하였다. 반응 gas는 Ar과 O₂를 80:20sccm으로 고정하였다. 박막 증착이 끝난 후 950℃, O₂ 분위기에서 1분간 고온 급속 열처리를 행하였다. 이렇게 형성된 LiNbO₃/AlN/Si 기판에 E-beam을 이용하여 Pt전극을 증착하여 MFIS 구조를 완성하였다.

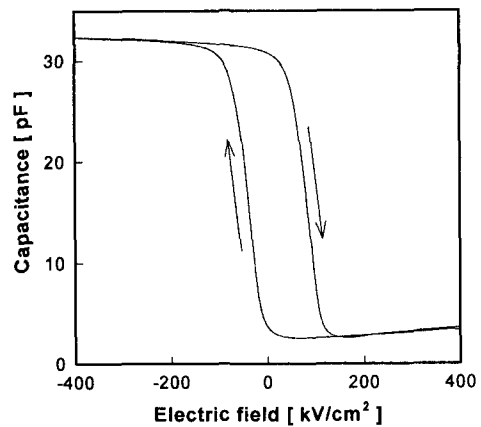


그림 4. Pt/LiNbO₃/AlN/Si 구조를 갖는 MFIS 커패시터의 1MHz C-V 특성곡선
 Fig 4. 1MHz C-V characteristic curve of MFIS capacitor with Pt/LiNbO₃/AlN/Si structure

그림 4는 Pt/LiNbO₃/AlN/Si 구조를 갖는 MFIS 커패시터의 1MHz C-V 특성곡선을 보인 것이다. 그래프에서 보는 것과 같이 양호한 interface 특성을 보이고 있으며, LiNbO₃ 박막의 강유전성으로 인한 히스테리시스 특성이 관측됨을 확인할 수 있다. 측정된 memory window width는 약 1.2V였다. 1MHz C-V 특성 곡선의 축적상태로부터 계산한 유전상수는 약 23이었다.

그림 5는 MFS 구조에서의 게이트 누설전류밀도와 제작한 MFIS 커패시터의 게이트 누설전류밀도를 비교해서 나타낸 것이다. 그래프에서 보는 바와 같이 MFIS 구조에서의 게이트 누설전류밀도가 MFS 구조에서의 게이트 누설전류밀도 보다 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.

감사의 글

본 연구는 한국전자통신연구원의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌(또는 Reference)

[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 LiNbO₃/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 MFSFET's with Various Gate Electrodes Using LiNbO₃/Si (100) Structures", 1999 Int. workshop on Advanced LSIs and Devices, Pyungchang, Korea, July 22-24, 1999, Proceedings, pp. 328-333

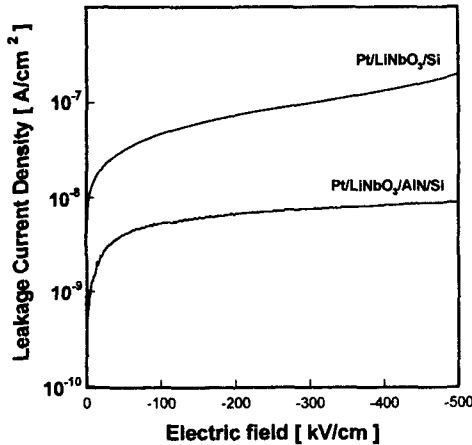


그림 5. Pt/LiNbO₃/AlN/Si(100) 구조를 갖는 MFIS 커패시터의 게이트 누설전류[8]
 Fig 5. Gate leakage current of MIS capacitor with Pt/LiNbO₃/AlN/Si(100) structure

III. 결론

RF 마그네트론 스퍼터링법을 사용하여 buffer층이 삽입된 Pt/LiNbO₃/AlN/Si 구조의 MFIS 커패시터를 구현하여, 비휘발성 메모리로서의 응용 가능성을 확인하였다. buffer층으로 사용한 AlN 박막의 특성을 확인하기 위하여 Al/AlN/Si 구조를 갖는 MIS 커패시터를 제작하여 그 특성을 확인한 결과 1MHz C-V 특성곡선의 축적상태로부터 계산한 유전상수 값이 약 8로 나타났으며, 게이트 누설전류밀도는 전계 500kV/cm에서 10⁻⁸A/cm² 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 5.6×10¹³ Ω·cm이다. 1MHz C-V 특성 곡선을 보면 양호한 interface 특성과 LiNbO₃ 박막의 강유전성으로 인한 히스테리시스 특성을 보임을 확인할 수 있으며, 이 때의 memory window width은 약 1.2V였다. 이러한 결과들로 미루어 볼 때 향후 MFISFET로의 응용 가능성이 충분하다고 생각된다.