

TVS법을 이용한 강유전체 박막내에서의 mobile charge 밀도 산출

Calculation of mobile charge density in ferroelectric films using TVS(Triangular Voltage Sweep) method

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

In this paper we applied TVS(Triangular Voltage Sweep) method to calculate the mobile ionic charge densities in some ferroelectric thin films. During the measurement, the temperature of specimens were maintained at 200°C. By this method, the amount of mobile ionic charge Q_m and mobile ionic charge density N_m of a MFIS structure were calculated 3.5 [pC] and about 4.3×10^{11} [ions/cm²], respectively. In order to successful TVS measurement, the gate leakage current density of films must be low 10^{-9} [A/cm²] order.

Key Words(중요용어) : TVS(Triangular Voltage Sweep),
Mobile ionic charge density (유동이온전하 밀도), Thin films (박막),
MFIS (Metal-ferroelectric-insulator-semiconductor),
Ferroelectric (강유전체)

1. 서론

Triangular Voltage Sweep Technique (TVS)
은 Yamin¹⁾에 의해 1966년에 제안된 기법으로 MOS

capacitor의 oxide내에 존재하는 ion contamination
정도를 알아내기 위한 빠르고, 간단하며 민감한 것
으로 알려진 측정 기법이다.

이 기법이 제안 될 당시에는 금속-산화막-반도체

의 구조를 갖는 커패시터 및 전계효과 트랜지스터들의 상용화가 한창 진행되던 때였는데, 예기치 않은 소자 동작 특성이 열산화막 내에 존재하는 유동 이온들(Na^+ , K^+ 등)에 기인한 것으로 연구·보고된 바 있다. 이처럼 MOS 구조에서와 마찬가지로 강유전체를 절연막으로 하는 MFIS, MFS, MFM 등의 구조를 갖는 소자의 박막에도 유동 이온들이 존재하게 되며, 이러한 이온들에 의한 디바이스의 불안정성 때문에 비휘발성 메모리 소자로 실용화함에 있어서 문제점으로 대두되어 해결이 요구되고 있다.

본 논문에서는 MFIS, MFS, MFM 소자에 대하여 TVS 기법을 적용하여 산출된 mobile ion density를 논의 하고자 한다.

II. 실험 및 결과

II-1 TVS 측정 시스템의 구성

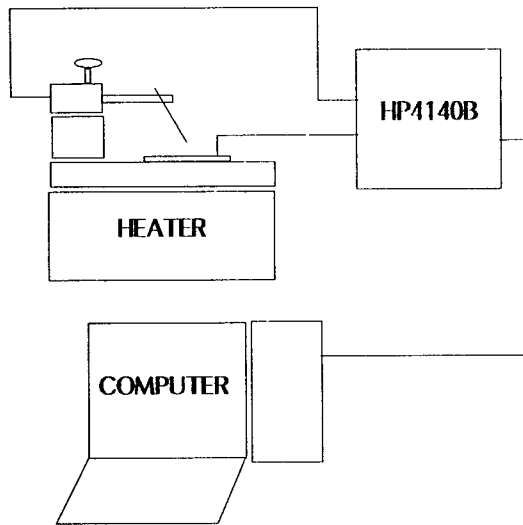


그림 1. TVS 측정을 위한 시스템의 개략도
Fig. 1. Schematic of TVS measurement system

그림 1은 TVS를 이용한 평가를 위해 꾸며진 측정 시스템의 개략도이다. Heater를 이용해 기판온도를 200°C로 유지시킨 상태에서 TVS 측정을 시행했다. MFIS 커패시터의 특성에 대한 평가에는 pA Meter / DC Voltage source (HP4140B), LF Impedance Analyzer(HP4192A) system을 사용하였다.

II-2 Triangular Voltage Sweep의 개요

TVS 기법은 MOS capacitor의 열산화막 내의 ion contamination 정도를 알아내기 위한 빠르고, 간단하며 민감한 기법으로, 여기서 얻어진 전류 peak의 면적은 전체 mobile ionic space charge의 양에 비례한다. 이 기법은 10^9 mobile ions \cdot cm⁻² 정도의 양도 알아낼 수 있다. 즉, mobile ionic charge에 해당하는 전류 peak의 면적이 1×10^{-14} 인 것까지 계산 가능하다.

특히 TVS method는 positive mobile charge의 SiO₂내에서의 동태에 대해 연구^{2~5)}하는데 이용되었던 것으로 voltage ramp가 게이트에 인가되고 일정 온도로 유지된 상태에서 ionic displacement current를 측정하게 되는데, 이 방법이 C-V method를 능가하는 대표적인 장점은 다음의 네 가지⁶⁾가 있다.

- ① 열을 가했을 때 interface trap level density가 변화하여도 mobile ion density를 정확히 구할 수 있다.
- ② 주어진 gate bias와 온도에 대하여 Na^+ 과 K^+ 같은 mobile ion족은 서로 다른 게이트 바이어스에 대하여 각기 다른 peak를 나타낸다. 따라서 얻어진 peak으로부터 각각에 해당하는 밀도를 voltage ramp sweep rate에 대해 비례적으로 산출 할 수 있다.
- ③ C-V method 보다 더욱 민감하기 때문에 10^9 cm⁻²와 같은 낮은 ion 밀도라 해도 추출 할 수 있다.
- ④ TVS method는 C-V method에 비하면 단 하나의 plot만이 필요하며 가열한 상태에서 여러 번 측정을 반복할 수 있다. 그리고, 이 방법은 routine process 및 quality control application에 매우 유용하다.

MOS의 경우 TVS에 따른 mobile ionic charge의 밀도 산출을 위한 얻어진 전류 peak의 면적에 해당하는 mobile charge의 계산에 관한 식⁷⁾은 다음과 같다.

$$Q_m = \int_{-V_G}^{V_G} [I_G - aC_{ox}] dV_G \quad [1]$$

여기서 I_G 는 TVS로부터 얻어진 게이트 전류, a 는 voltage ramp rate(dV/dt), C_{ox} 는 산화막의

용량, Q_m 은 mobile charge이다. 식 [1]에서 구한 mobile charge를 다시 다음의 식과 같이 계산하여 mobile charge density를 계산한다.

$$N_m = \frac{Q_m}{aqA} \quad [2]$$

여기서 $q=1.6 \times 10^{-19}$ [C], A 는 전극의 면적, N_m 은 mobile charge의 밀도이다.

II-3 실험결과

우선 TVS 측정에 앞서, 제작한 MFIS 디바이스에 대한 박막의 강유전성 보유 여부를 확인하기 위해 1MHz C-V를 측정하였다. 그에 대한 결과 그래프를 그림 2에 보였다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 시계방향의 히스테리시스 특성을 보이며, accumulation부터 inversion까지 capacitance가 변화되는 양호한 계면특성을 갖고 있는 것으로 판단된다. Voltage sweep rate를 0.02 V/sec, 0.2 V/sec로 달리 했을 때의 window 크기의 차이가 약 6배 가량으로 확인되었다. 이는 강유전체 박막에 일정한 전계가 인가되고 sweep rate만을 변화시킨 것에 대한 결과로 window의 크기가 sweep rate 변화에 따라서 6배 가량 차이가 생긴다는 사실로부터 강유전체 박막 내에 mobile ionic charge가 존재한다고 판단된다.

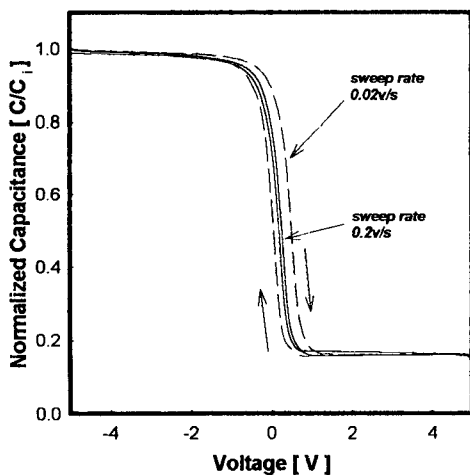


그림 2. MFIS device의 1MHz C-V 특성
Fig. 2. Characteristics of 1MHz C-V of MFIS capacitor

이때 사용된 시료의 게이트 면적과 강유전체 박막의 두께는 각각 $A=2.54 \times 10^{-4}$ cm², $d=200$ nm이며, 기판의 온도는 200℃이다.

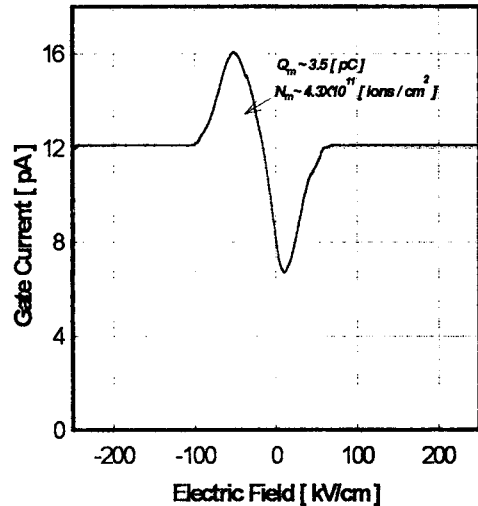


그림 3. MFIS 소자의 TVS 특성
Fig 3. TVS characteristics of MFIS device

그림 3에 강유전체 박막 SBT를 사용한 MFIS 커패시터의 TVS특성을 보인다. 이때의 인가 전계는 +250kV/cm부터 -250kV/cm이고, C_{ox} 는 약 60 [pF]이며, $\alpha=0.2$ V/s이다. 이 그림에서 보면 -51.5kV/cm 부근의 전계에서 양의 peak가, +10.5kV/cm 부근의 전계에서 음의 peak가 관측된다. 높은 전계에서의 peak는 mobile ion에 의해 생긴 peak이며 저전계에서의 peak는 박막의 강유전성에 의한 분극반전에 기인한 것으로 판단하고 있다. Ion들에 의한 고전계 쪽에서의 peak부분에 대해 식[1]을 적용시켜 mobile charge Q_m 을 구하면 3.5 [pC]이고, 다시 식 [2]를 적용하면 mobile charge density는 $N_m \approx 4.3 \times 10^{11}$ [ions/cm²]이다.

한편, 그림 4에는 MFS, MFIS 및 MOS 구조를 갖는 커패시터에 대한 게이트 누설전류밀도에 대해 나타내었다.

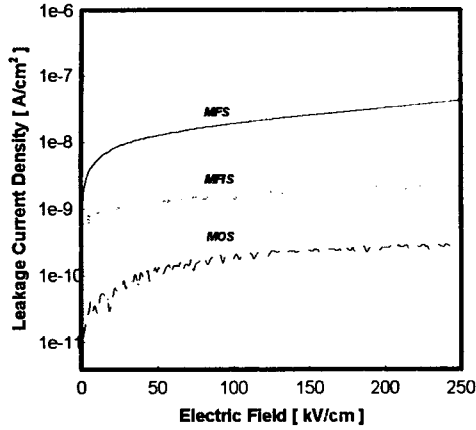


그림 4. MFS, MFIS 및 MOS 커패시터 박막의 누설전류밀도

Fig. 4. Gate leakage current densities of MFS, MFIS and MOS capacitors

이 그림에서 보면 MOS 커패시터의 누설전류밀도가 10^{-10} [A/cm²] low order로 매우 양호한 leakage 특성을 보여 주며, 고주파 C-V 특성 및 TVS 특성 또한 양호한 결과를 보였다. MFIS 커패시터의 누설전류밀도는 10^{-9} [A/cm²] low order로 역시 양호한 leakage 특성을 보여주며, 고주파 C-V 및 TVS 특성에 대해서도 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나, MFS 커패시터의 누설전류밀도는 10^{-8} [A/cm²] high order로 고주파 C-V 특성은 양호했으나, 비교적 큰 누설전류밀도로 인해 TVS 특성은 관찰 할 수가 없었다. 게이트의 누설전류밀도가 MFIS와 1 order 차이를 보이고 있는데, 이것을 MOS와 비교하면 누설전류밀도 크기의 차이가 약 1000배 정도로 나타난다. MFIS 구조 이외의 강유전체 막에 대한 mobile charge의 산출은 계속 진행되고 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 몇 개의 강유전체 박막내에 존재하는 mobile ionic charge 밀도를 산출하기 위해 TVS법을 적용하였다. 이 기법에 의해서 산출된 SBT를 사용한 MFIS구조의 mobile ionic charge

Q_m 및 mobile ionic charge density N_m 는 각각 3.5 [pC] 및 약 4.3×10^{11} [ions/cm²]를 이었다. TVS를 측정하기 위해서는 우선 박막의 leakage current density가 최소한 10^{-9} [A/cm²] low order로 유지되어야 한다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국전사통신연구원의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. M. Yamin, IEEE Trans. Electron Devices, ED-13, 79 (1966)
2. G. Barbottin, A. Vapaille, Instabilities In Silicon Devices, Vol.1, Elsevier Science Publishers B.V., 420, 1996.
3. M. Kuhn and D.J. Silversmith, "Ionic Contamination and Transport of Mobile Ions in MOS Structures", J. Electrochem. Soc. 118, 966-970, June 1971.
4. N. J. Chou, "Application of Triangular Voltage Sweep Method to Mobile Charge Studies in MOS Structures", J. Electrochem. Soc. 118, 601-609, April 1971.
5. M. Nemeth-Sallay, R. Szabo, I. C. Szep and P. Tutto, "Charge Motion In Silicon MOS Structures", Thin Solid Films, 70, 37, 1980.
6. E. H. Nicollian and J. R. Brews, MOS(Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology, Wiley, New York, 435, 1981.
7. Dieter K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterization, 2nd Ed., Wiley, New York, 362, 1998.