

스퍼터링법을 이용한 산화알루미늄/6H-SiC 구조의 제작 및 특성

정순원, 최행철*, 김재현*, 정상현*, 김광호*, 구경완**
영동대학교, *청주대학교, **호서대학교

Fabrication and Properties of Aluminum oxide/6H-SiC Structures using Sputtering Method

Soon-Won Jung, Haeng-Chul Choi*, Jae-Hyun Kim*, Sang-Hyun Jeong*, Kwang-Ho Kim*, Kyung-Wan Koo**
Youngdong Univ., *Cheongju Univ., **Hoseo Univ.

Abstract : Aluminum oxide films directly grown on n-type 6H-SiC(0001) substrates were fabricated by RF magnetron sputtering system. Metal-insulator-semiconductor(MIS) C-V properties with aluminum oxide thin films showed hysteresis and flat band voltage shift. The dielectric constant of the film calculated from the capacitance at the accumulation region was about 5. Typical gate leakage current density of film at room temperature was the order of 10^{-9} A/cm² at the range of within 2MV/cm. The breakdown did not occur at the film within the measurement range.

Key Words : aluminum oxide, MIS, 6H-SiC, sputtering

1. 서론

탄화규소(Silicon carbide: SiC)는 전기적, 물리적 특성들이 우수하기 때문에 고온(high-temperature), 고전력(high-power), 고방사능(high-radiation)용 소자를 위한 응용 분야에서 크게 주목받고 있는 wide band gap 반도체 재료이다[1,2]. 특히, wide band gap 반도체 재료들 가운데 유일하게 자연 산화막의 형성이 가능한 SiC는 1980년대 이후 다양한 응용 분야에서 중요한 재료로 인식되며 활발한 연구가 진행되고 있다. 그러나 다른 반도체 재료에 비해 공정기술의 어려움으로 인해 SiC의 응용 범위는 매우 제한적이다. 또한, SiO₂/SiC 구조에서의 전기적 결함들에 대한 보고가 몇몇 연구자들을 통해 알려져 있는데[3-5], 그 중에서도 SiC MOSFET에서는 SiC 표면의 거칠기 및 전하들이 포획된 계면 상태들로 인한 표면에서의 캐리어 이동도의 저하로 이동도가 현저히 줄어드는 결함이 있다는 보고가 있다. 그러나 이러한 문제점들은 주로 열적산화를 통해 얻어진 산화막과 관련한 문제점들로 열산화막이 아닌 다른 유전체를 이용한다면 극복이 가능해질 수 있다[6]. 본 논문에서는 앞서 언급한 SiO₂/SiC 계면에서의 문제점을 극복하고자 SiO₂ 대신 산화알루미늄 박막을 선택하여, RF 마그네트론 스퍼터링법으로 제작한 산화알루미늄/6H-SiC(0001) 구조의 특성에 대하여 논의한다.

2. 실험

본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 산화알루미늄 박막을 증착하였다. 기판으로 사용된 웨이퍼는 n-type, 실리콘 면을 가지며 3.5° off-axis 된 최종 실리콘 표면을 가진 SiC 에피택시 성장된 6H-SiC(0001)으로, $1\sim 2 \times 10^{15}$ cm⁻³로 질소 도핑된 것을 사용하였다. 유기 세정법과 RCA법으로 SiC 웨이퍼 표면

을 세척한 후, 10% HF 용액에 10분간 담갔다. 세척이 끝난 웨이퍼는 즉시 스퍼터링 챔버 내부에 장착되었으며, 초기 진공을 1×10^{-6} Torr 이하로 유지시켰다. 산화알루미늄 박막 증착에는 순도가 99.99 %, 크기가 3 인치인 Al₂O₃ 타겟을 사용하였으며, 실온에서 0.01~0.02 nm/s의 증착 속도로 50 nm를 형성하였다. 박막 증착 시 반응가스로 Ar만 사용하였으며, 박막 증착시 진공도는 10 mTorr로 유지하였다. 타겟과 기판 사이의 거리는 55 mm, RF power는 50 W로 각각 고정하였다. 증착이 끝난 산화알루미늄 박막을 thermal evaporator를 사용하여 알루미늄(6N-Al)을 직경 200 μm의 shadow 마스크를 이용하여 증착하였다. 제작된 MIS 소자의 전기적 특성 평가에는 Semiconductor Parameter Analyzer(HP4145B)와 LF Impedance Analyzer(HP4192A), pA meter(HP4140B)를 사용하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 Al/산화알루미늄/6H-SiC(0001) MIS 커패시터에 대한 1 MHz C-V 특성 곡선을 보인 것이다. 산화알루미늄박막의 두께는 51 nm이다. C-V 특성 측정은 실온에서 암실인 상태를 유지시키고, 축적영역으로부터 반전영역으로 20 mV/s의 속도로 측정하였다. 그림에서 보면 음전압에 대해 반전이 이루어지지 못하고 deep depletion 상태에 머물러 있음을 확인할 수 있다. 이는 SiC와 같은 wide band gap 반도체의 경우, 단순한 전압의 인가만으로는 충분한 EHP의 생성 및 유지가 매우 어려워 특성 확인이 불가능하기 때문으로 설명할 수 있다. 즉, 측정 온도를 수백도 정도로 상승시켜, 충분한 EHP 형성이 가능한 에너지를 가해 준 상태에서 측정할 경우 보다 정확한 특성을 확인할 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 그래프에서 보면 flat band 전압이 +쪽으로 많이 이동되었음을 확인

할 수 있는데, 이는 산화알루미늄/SiC 계면에 negative charge가 막 내에 다수 존재하고 있음으로 판단되며, 실온에서 측정된 결과이기 때문에 계면 근처 페르미 준위와 진성 페르미 준위 사이에서는 인가된 전압 하에서 계면 준위의 응답 시간이 매우 길어 같은 전하들이 쉽게 빠져 나오지 못하고 결국 트랩 내에 머물기 때문으로 판단된다. 그래프의 축적영역으로부터 계산된 산화알루미늄의 비유전율은 약 5였으며, 유전율이 상대적으로 작은 이유는 산화알루미늄/SiC 계면에 불필요하게 형성된 얇은 SiO_2 에 기인한 것으로 판단된다.

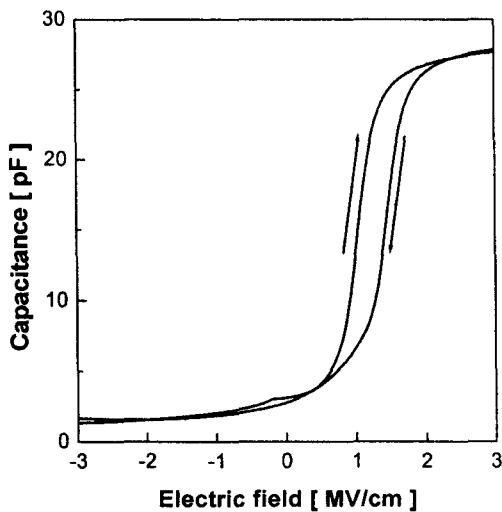


그림 1. Al/산화알루미늄/6H-SiC(0001) MIS 커패시터에 대한 실온에서 20 mV/s의 속도로 측정된 1 MHz C-V 특성 곡선.

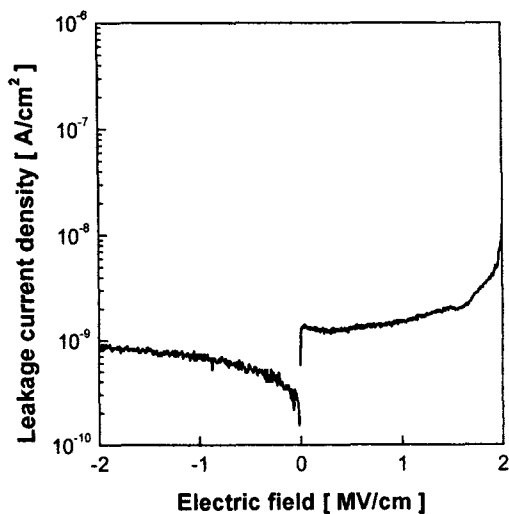


그림 2. 실온에서 측정된 Al/산화알루미늄/6H-SiC(0001) MIS 커패시터의 게이트 누설전류밀도 특성 곡선.

그림 2는 Al/산화알루미늄/6H-SiC(0001) MIS 커패시터의 인가 전계에 따른 게이트 누설전류밀도를 나타낸 것이다. 양 및 음의 방향으로 인가시킨 전계 범위 내에서는 그림에서 보는 바처럼 누설전류가 10^{-9} A/cm² 이하로 매우 우수함을 알 수 있다. 그림에는 나타내지 않았지만 산화알루미늄의 절연파괴강도를 확인하기 위해 실온에서 측정한 결과, 6 MV/cm 이내에서는 절연파괴가 일어나지 않는 우수한 특성을 보였다.

4. 결론

스퍼터링법을 이용하여 우수한 전기적 특성을 갖는 Al/산화알루미늄/6H-SiC(0001) MIS 커패시터를 성공적으로 구현하였다. 전기적 특성을 평가한 결과, 인가 전계 6 MV/cm 이내에서는 절연 파괴가 일어나지 않는 우수한 특성이 나타났으며, 인가전계 2 MV/cm의 범위에서는 10^{-9} A/cm² 이하로 매우 우수함을 알 수 있었다. 그러나 히스테리시스 현상 및 박막 내에 존재하는 전하들로 인한 flat band 전압의 이동 등은 개선해야 할 문제점으로 생각하며, 충분한 EHP 형성이 가능할 정도의 큰 에너지를 가해 주어 측정할 필요성이 있음을 확인하였다. 이러한 문제점들을 개선시킨다면 보다 다양한 분야로의 SiC MIS 소자의 활용이 가능하리라 판단된다.

참고 문헌

- [1] H. Morkoc, S. Strite, G. B. Gao, M. E. Lin, B. Sverdlov, and M. Burns, *J. Appl. Phys.*, Vol. 76, No. 3, p. 1363, 1994.
- [2] J. A. Cooper, Jr., *Phys. Stat. Sol. (a)*, Vol. 162, No. 1, p. 305, 1997.
- [3] C. Raynaud, J.-L. Autran, B. Balland, G. Guillot, C. Jaussaud, and T. Billon, *J. Appl. Phys.*, Vol. 76, No. 2, p. 993, 1994.
- [4] E. Bano, T. Quisse, L. DiCioccio, and S. Karmann, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 65, No. 21, p. 2723, 1994.
- [5] C. Raynaud, J.-L. Autran, J. B. Briot, B. Balland, N. Becourt, T. Billon, and C. Jaussaud, *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 66, No. 18, p. 2340, 1995.
- [6] S. Sridevan, V. Misra, P. K. McLarty, B. J. Baliga, and J. J. Wortman, *IEEE Electron Dev. Lett.*, Vol. 16, No. 11, p. 524, 1995.
- [7] Aboelfotoh, M. O., Kern, R. S., and Davis, R. F., *Materials And Devices Proceedings 1996*, p. 382, 1997.