

AlN 버퍼층위에 성장된 M/NEMS용 다결정 3C-SiC 박막의 특성

정귀상 · 김강산 · 이종화[†]

Characteristics of polycrystalline 3C-SiC thin films grown on AlN buffer layer for M/NEMS applications

Gwi-yang Chung, Kang-San Kim, and Jong-Hwa Lee[†]

Abstract

This paper describes the characteristics of poly (polycrystalline) 3C-SiC grown on SiO₂ and AlN substrates, respectively. The crystallinity and the bonding structure of poly 3C-SiC grown on each substrate were investigated according to various growth temperatures. The crystalline quality of poly 3C-SiC was improved from resulting in decrease of FWHM (full width half maximum) of XRD and FT-IR by increasing the growth temperature. The minimum growth temperature of poly 3C-SiC was 1100 °C. The surface chemical composition and the electron mobility of poly 3C-SiC grown on each substrate were investigated by XPS and Hall Effect, respectively. The chemical compositions of surface of poly 3C-SiC films grown on SiO₂ and AlN were not different. However, their electron mobilities were 7.65 cm²/V.s and 14.8 cm²/V.s, respectively. Therefore, since the electron mobility of poly 3C-SiC films grown on AlN buffer layer was two times higher than that of 3C-SiC/SiO₂, a AlN film is a suitable material, as buffer layer, for the growth of poly 3C-SiC thin films with excellent properties for M/NEMS applications.

Key Words : polycrystalline 3C-SiC, M/NEMS, CVD, AlN

1. 서 론

최근 급속히 발전하고 있는 Si-M/NEMS (Micro/nano electro mechanical system)는 Si의 1.1 eV의 낮은 밴드갭으로 인해 100 °C 전후 그리고 SOS (Si-on-Sapphire)와 SOI (Si-on-Insulator) 구조의 경우는 300 °C까지 사용이 가능하지만, 집적화된 M/NEMS의 높은 발열문제를 극복하기에는 그 한계가 있다^[1]. 이러한 Si-M/NEMS의 문제점을 극복할 수 있는 대안으로 우수한 물리적, 전기적, 기계적, 화학적, 광학적 특성뿐만 아니라 Si 미세표면가공기술을 이용할 수 있는 SiC-M/NEMS에 대한 관심이 증대되고 있다^[2]. SiC는 Si에 비해 밴드갭이 2~3배 이상 높고 열전도도가 3배가량 뛰어나 높은 한계 온도를 가지며 화학적 안정성과 내부 식성, 내산화성이 매우 양호하기 때문에 극한 환경에서

도 사용이 가능하다^[3].

또한, 3C-SiC는 벌크형태로 성장되는 4H, 6H와는 달리, Si기판 혹은 절연막 위에 이종결정성장된다. 이러한 이종결정성장의 구조는 박막의 두께제어가 쉽고 기판의 식각을 통한 3C-SiC 미세구조물 제작이 용이하며, 박막의 뛰어난 기계적 특성으로 인해 마이크로 캔틸레버, 공진기 등의 RF용 M/NEMS로써 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나, 3C-SiC를 Si기판에 직접 이종결정성장할 경우 기판과 박막의 격자부정합(20%)과 열팽창계수(8%)의 차이로 인해 큰 스트레스가 발생하며 이것은 M/NEMS 적용에 큰 문제요소가 된다. 따라서, SiC와 Si사이에서 발생하는 격자부정합과 열팽창계수의 차이에 의한 결함을 줄이기 위한 적합한 기판을 찾는 것이 고품질의 SiC 성장을 위해 대단히 중요하다^[4].

일반적으로 SiO₂가 전기적 절연과 쉬운 식각 특성으로 인해 기판으로 많이 사용되었지만, 최근 여러 반도체 물질 중에서도 AlN이 고품질의 SiC 성장을 위한 기판으로의 관심이 증대되고 있다. AlN은 육방형의 구

울산대학교 전기전자정보시스템공학부(School of Electrical Eng., University of Ulsan)

[†]Corresponding author: jhlee@ulsan.ac.kr

(Received : April 23, 2007, Accepted : October 4, 2007)

조이지만, SiC와의 격자부정합의 차이가 약 1%밖에 나지 않기 때문에 SiC와 Si의 격자부정합에 의해 발생하는 스트레스를 크게 줄일 수 있다. 따라서, 스트레스의 감소로 인해 막질과 전기적 특성인 전자이동도의 향상을 기대할 수 있다. 전자이동도의 경우 비저항과 큰 관련이 있으며 전자포화속도에 큰 영향을 준다. 높은 전자이동도는 낮은 비저항을 가지며 높은 전자포화속도를 가진다. 이러한 요소는 M/NEMS 적용시 매우 중요한 부분이다.

AlN은 높은 열전도도, 넓은 밴드갭 (6.2 eV)에 의한 절연특성, 그리고 SAW (Surface acoustic wave) 필터로 제작될 정도로 주파수의 특성이 좋기 때문에 높은 Young's modulus, 물리적, 기계적 그리고 화학적 안정성을 가지는 SiC와 다층으로 결합하게 되면 나노공진기, 캔틸레버 그리고 바이오 및 RF-M/NEMS 관련 특성이 향상될 것으로 기대된다.

따라서, 본 연구에서는 SiO₂와 AlN 버퍼층에 SiC 박막을 각각 이중결정성장하여 물리적, 전기적 특성을 분석 및 평가했다.

2. 실험

그림 1은 본 연구에서 사용한 APCVD 장치를 도식적으로 나타낸 것이다. 본 연구에서는 동일한 성장조건을 위해 SiO₂와 AlN이 성장된 Si기판을 각각 동시에 로딩해서 다결정 3C-SiC를 이중결정성장했다. SiO₂와 AlN은 열산화법과 마그네트론 스퍼터링으로 각각 증착했다. 3C-SiC 증착을 위한 메인 캐리어가스로 10 slm의 Ar을 사용하였고, HMDS의 반응성을 높이기 위해 고순도 H₂가 주입되었다.

반응관의 초기화를 위해 Ar purging을 3회 수행 후,

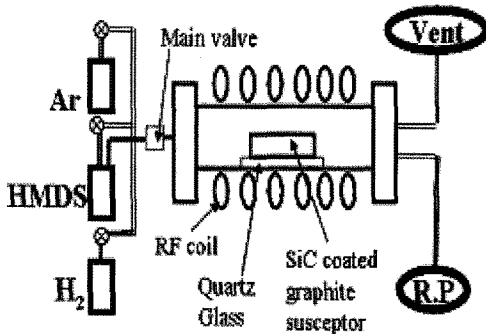
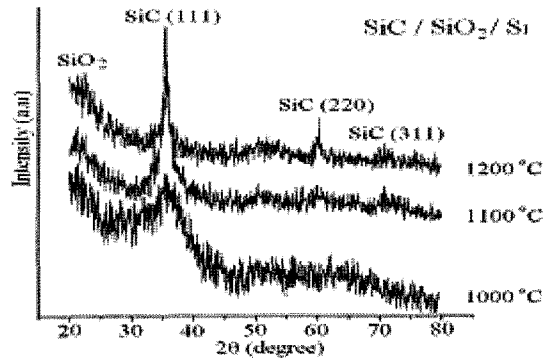


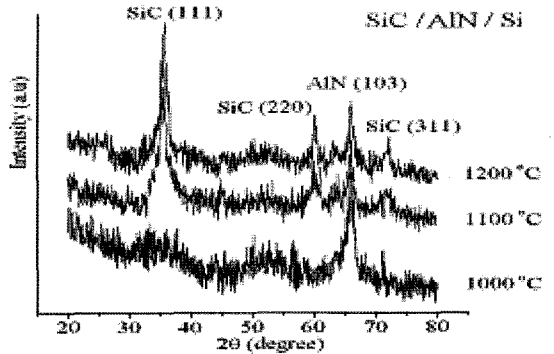
그림 1. 다결정 3C-SiC 박막 성장을 위한 APCVD 장치의 도식도
Fig. 1. Schematic diagram for the crystal growth of poly 3C-SiC thin films by APCVD.

100 sccm의 H₂를 주입했다. SiO₂와 AlN이 성장된 Si기판은 가스흐름과 수평으로 반응관 중앙에 놓여지고, SiC로 코팅된 흑연 서셉터는 RF코일에 의해 가열되었다. 다결정 3C-SiC증착을 위한 성장온도까지의 ramping up time은 2분으로 조정했으며, 온도가 안정된 후 1 sccm의 HMDS를 주입했다. 온도에 따른 결정성 비교를 위해 30분 동안 1000~1200 °C에서 100 °C 단위로 온도별 성장을 수행했다.

성장된 다결정 3C-SiC의 성장온도와 기판에 따른 결정성과 결합구조는 XRD (X-ray diffraction)와 FT-IR (Fourier transformation infrared spectroscopy)로 분석했고 박막표면의 원소성분 분석은 XPS (X-ray photoelectron spectroscopy)로 수행했다. SEM (Scanning electron microscope)으로 SiC의 표면과 계면을 평가했고, 전기적 특성은 Hall 측정을 통해 분석했다.



(a)



(b)

그림 2. (a) SiO₂와 (b) AlN 버퍼층에 각각 온도에 따라 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 XRD 스펙트라
Fig. 2. XRD spectra of the poly 3C-SiC thin film grown on (a) SiO₂ and (b) AlN buffer layers according to growth temperature.

3. 결과 및 고찰

그림 2(a)와 (b)는 SiO₂와 AlN 버퍼층위에 각각 성장된 다결정 3C-SiC의 XRD 스펙트럼이다. 그림 2(a)는 약 36°에서 SiC (111)면의 피크가 관측되었고, 60° 근처에서 SiC (220) 72° 근처에서 SiC (311) 면이 각각 관측되었다. SiC (111)이외의 SiC 결정피크로 인해 다결정 3C-SiC가 성장되었음을 확인했고, SiC (111)방향으로 highly-orient되었다^[5]. 그림 2(b)에서도 SiC 고유의 피크가 관측되었으며 특히, 1100 °C와 1200 °C에서 SiC (111)이외의 결정방향들의 intensity가 그림 2(a)의 경우보다 크기 때문에 상대적으로 다결정 성향이 강함을 알 수 있다. 반면, 1000 °C에서는 SiC 피크가 관측되지 않아 AlN 버퍼층에 SiC 성장을 위한 최소온도는 1100 °C임을 확인하였다.

그림 3은 온도에 따라 XRD 피크의 이동을 기판별로 나타낸 것이며 scan step은 0.006 degree였다. SiC/SiO₂의 경우 성장온도의 증가에 따라 cubic 3C-SiC의 기준치인 2θ=35.65° (JCPDS)에서 멀어진다. 이것은 비정질구조인 SiO₂와 다결정 구조인 SiC의 계면간의 부정합으로 인해 성장온도의 증가에 따라 SiC 박막에 가해지는 스트레스가 증가한 것으로 사료된다. 반면, SiC/AlN의 경우 성장온도 1180 °C에서 기준치인 2θ =35.65°와 동일한 값을 가지게 되는데, cubic 3C-SiC와 AlN의 격자부정합 차이가 적음으로 인해 SiC 결정에 가해지는 스트레스의 영향이 감소한 것으로 사료된다. 따라서, AlN 기판을 사용할 경우, SiO₂기판에 비해 상대적으로 작은 스트레스를 가지는 다결정 3C-SiC 박막 성장이 가능하다.

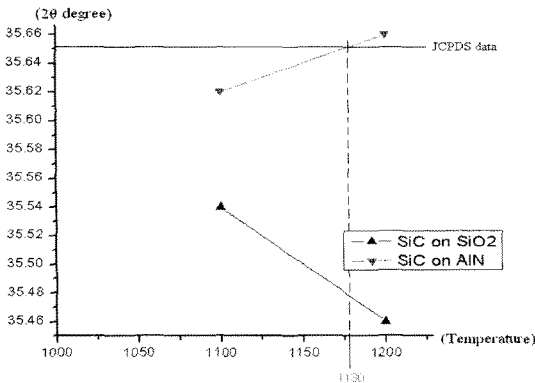


그림 3. 온도에 따른 SiO₂와 AlN 버퍼층에 기판에 성장된 다결정 3C-SiC의 XRD 피크 이동
Fig. 3. XRD peaks shift of poly 3C-SiC grown on SiO₂ and AlN buffer layers according to growth temperature.

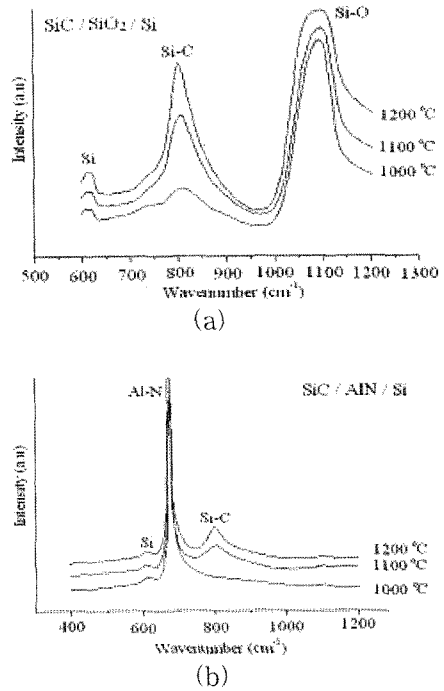


그림 4. 온도에 따라 (a) SiO₂와 (b) AlN 버퍼층위에 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 FT-IR 스펙트라
Fig. 4. FT-IR spectra of the poly 3C-SiC thin film grown on (a) SiO₂ and (b) AlN buffer layers according to growth temperature.

그림 4(a)와 (b)는 SiO₂와 AlN 버퍼층에 각각 성장된 다결정 3C-SiC의 FT-IR 스펙트럼이다. 각각, 총 3개의 결합에 대한 반응이 나타났다. 그림 4(a)는 611 cm⁻¹에서 Si 기판의 피크와 802.4 cm⁻¹에서 Si-C의 결합피크 그리고 1100 cm⁻¹에서 Si-O의 결합피크가 관측되었다. 그림 4(b)는 611 cm⁻¹에서 Si 기판의 피크, 673 cm⁻¹에서 Al-N의 결합피크 그리고 798.5 cm⁻¹에서 Si-C의 결합피크가 관측되었다. 또한, 반치폭의 변화는 1100 °C와 1200 °C에서 그림 4(a)는 각각 46.3 cm⁻¹, 43.9 cm⁻¹로 측정되었으며 그림 4(b)는 각각 46.1 cm⁻¹, 41.5 cm⁻¹로 측정되었다. Si-C의 결합피크는 그림 4(a)와 (b)가 동일하게 성장온도의 증가에 따라 결합구조가 향상됨을 확인했다^[6]. 이것은 XRD의 결과와 일치하며 성장온도가 증가할수록 SiC의 막질이 향상됨을 의미한다.

본 연구에서는 XPS를 이용하여 SiO₂와 AlN 버퍼층에 각각 성장된 다결정 3C-SiC의 화학조성을 분석하기 위해 수행되었다. SiC의 성장 조건은 HMDS는 1 sccm, 온도는 1200 °C이고 성장시간은 30분이었다. 각각의 버퍼층에 성장된 다결정 3C-SiC의 표면스캔을 통해 Si, C, O의 광전자 방출 피크를 측정했다. O (1s)의 광

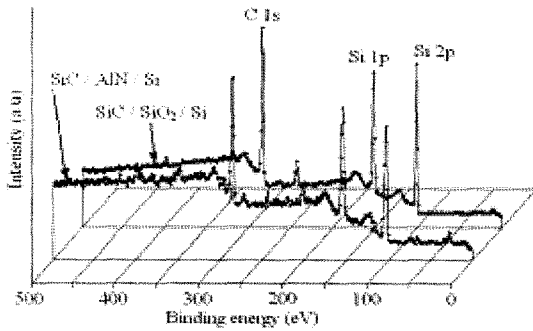


그림 5. SiO₂와 AlN 버퍼층위에 각각 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 XPS 스펙트라
Fig. 5. XPS spectra of poly 3C-SiC thin films grown on the SiO₂ and AlN buffer layers, respectively.

전자 방출 피크는 짧은 Ar 이온 에칭을 통해 급격히 감소했다. 이것은 박막의 표면에만 산소가 분포해 있음을 의미한다. 그림 5는 1200 °C에서 성장된 SiC의 Si(2p) C(1s)의 광전자 방출 스펙트라를 보여준다. 100.5 eV와 283.5 eV에 위치한 Si(2p)와 C(1s) 피크는 3C-SiC에 대해 이전에 보고된 내용과 일치한다. 피크의 위치와 모양이 기판에 따른 차이가 없었기 때문에 AlN 버퍼층에서도 3C-SiC 박막이 정상적으로 성장되었음을 의미한다.

그림 6는 각각 다결정 3C-SiC가 성장된 박막의 계면 SEM 이미지이다(×40,000의 배율). SiC 성장을 위해 사용된 버퍼층인 SiO₂와 AlN의 두께는 각각 400, 700 nm 이고 1200 °C에서 30분간 성장했으며 SiC의 두께는 각각 289, 200 nm이었다. SiO₂에 성장된 SiC가 다소 높은 성장률을 보였다. 다결정 3C-SiC와 기판의 계면에 void를 비롯한 이종결정성장에 발생 가능한 결함들은 관측되지 않았다.

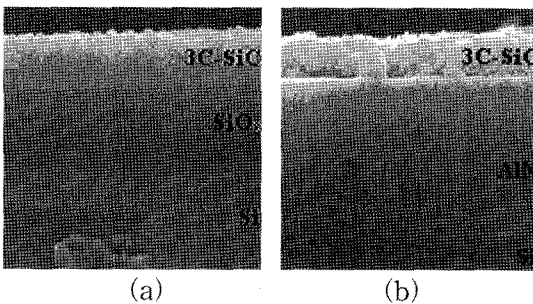


그림 6. (a) SiO₂와 (b) AlN 버퍼층에 각각 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 계면 SEM 사진
Fig. 6. Cross-sectional SEM images of poly 3C-SiC thin films grown on (a) SiO₂ and (b) AlN buffer layers, respectively.

전기적 특성을 분석하기 위해 Hall effect measurement system (HEM-2000)으로 각각의 버퍼층에 성장된 다결정 3C-SiC박막의 전자 이동도 측정하였다. 스퍼터링으로 자연 산화막이 제거된 SiC 표면에 4개의 1 원형 Al 전극을 증착한 다음, 400 °C에서 20분간 진공 열처리 후 측정했다.

AlN과 SiO₂ 버퍼층위에 각각 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 전극 증착조건과 열처리조건을 동일하게 유지하기 위해 시편을 동시에 로딩했다. 상온에서 측정된 결과, SiO₂에 성장된 SiC의 전하이동도는 7 cm²/V.s이며 AlN에 성장된 SiC의 전하이동도는 14.8 cm²/V.s였다. 이 수치는 2006년 M. Mehregany에 의해 제작된 다결정 3C-SiC hall device의 전하이동도인 2 cm²/V.s 보다 높은 수치이다. 이것은 AlN과 3C-SiC간의 격자 부정합이 SiO₂와 3C-SiC의 격자 부정합보다 상대적으로 작기 때문에 3C-SiC 박막의 스트레스가 감소함으로 전기적 특성이 양호해진 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문은 다결정 3C-SiC를 SiO₂와 AlN 버퍼층위에 각각 APCVD로 성장하여 물리적, 전기적 특성을 분석했다.

XRD와 FT-IR로 각 버퍼층에 성장된 3C-SiC의 결정성과 화학구조를 온도별로 분석했고, 성장온도가 증가할수록 결정성과 화학구조가 향상됨을 확인했다. 또한, XPS 분석을 통해 각각의 버퍼층에 성장된 다결정 3C-SiC의 화학조성을 확인했으며, 버퍼층에 따른 SiC 박막의 화학 조성 차이는 없었다. 따라서, XRD, FT-IR 그리고 XPS 결과를 통해 SiO₂와 마찬가지로 AlN 버퍼층위에도 다결정 3C-SiC가 정상적으로 성장되었다. 또한, XRD의 최대피크의 분석을 통해 AlN에 성장된 다결정 3C-SiC의 경우, SiC 고유의 2θ=35.65°로 접근함을 확인 했다. 이러한 피크의 이동은 SiC 박막과 기판간의 격자부정합의 감소에 의한 영향으로 사료된다.

SEM으로 각각의 버퍼층위에 성장된 다결정 3C-SiC의 계면과 표면을 평가했으며 계면에서 이종결정성장 시 발생 가능한 결함 (void, dislocation, out diffusion) 은 관측되지 않았다.

전기적 분석인 Hall 측정을 통해 SiC의 전하이동도를 각각의 버퍼층에 따라 분석했다. 동일한 조건에서 성장과 분석이 수행되었지만, AlN에 성장된 SiC의 전하이동도는 14.8 cm²/V.s으로써 SiO₂에 성장된 SiC의 전하이동도인 7 cm²/V.s보다 2배 높은 이동도를 보였다.

따라서, AlN 박막은 SiO₂를 대신해 다결정 3C-SiC

성장을 위한 버퍼층으로 사용이 가능하며 AlN의 높은 열전도도와 밴드갭으로 인해 각종 SiC-M/NEMS 분야에 응용 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

“이 논문은 2007년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음”.

참고 문헌

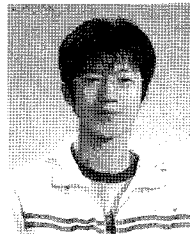
[1] G. S. Chung, “Ohmic contact characteristics of polycrystalline 3C-SiC for high-temperature MEMS application”, *J. Korean Sensors Soc.*, vol. 15, pp. 386-390, 2006.
 [2] P. M. Sarro, “Silicon carbide as a new MEMS tech-

nology”, *Sensors & Actuators A*, vol. 3, pp. 210-218, 2000.
 [3] Y. T. Yang, K. L. Ekinici, X. M. H. Huang, L. M. Schiavone, M. L. Roukes, and M. Mehregany, “Monocrystalline silicon carbide nanoelectromechanical systems”, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 78, pp. 165-167, 2001.
 [4] Z. Qin, P. Han, and Y.D. Zheng, “Characterization of 4H-SiC grown on AlN/Si(100) by CVD”, *Thin Solid Films*, vol. 515, pp. 580-582, 2006.
 [5] D. Gao, M. B. J. Wijesundara, C. Carraro, R. T. Howe, and R. Maboudian, *IEEE Sensors J.*, vol. 4, pp. 441-448, 2004.
 [6] Y. Tanaka, Y.Hasebe, T. Inushima, A. Sandhu, and S. Ohoya, “Comparison of AlN thin films grown on sapphire and cubic-SiC substrate by LP-MOCVD”, *J. Cryst. Growth*, vol. 209, pp. 410-414, 2000.



정 귀 상(Gwiy-Sang Chung)

- 1992년 3월 TUT(공학박사)
- 1993년 2월 ETRI 선임연구원
- 2004년 2월 UC Berkeley 연구교수
- 현대 울산대학교 전기전자정보 시스템공학부 교수
- 주관심분야 : SOI, SiC, AlN, ZnO-M/NEMS



김 강 산(Kang-San Kim)

- 2006년 2월 울산대학교 전기전자 정보시스템공학부 졸업(공학사)
- 현재 울산대학교 대학원 전기전자 정보시스템 공학부 석사과정
- 주관심분야 : SiC-M/NEMS



이 종 화(Jong-Hwa Lee)

- 1974년 2월 울산공대 전기공학과(공학사)
- 1976년 2월 한국과학원 재료공학과(공학석사)
- 1986년 7월 영국 Brunel Univ. 물리학과(공학박사)
- 1998년 8월~1999년 8월 러시아 Novosibirsk State Tech. Uni.(방문교수)
- 현재 울산대학교 전기전자정보 시스템공학부 교수
- 주관심분야 : 반도체소자 및 VLSI 설계