

SDB와 etch-back 기술에 의한 MEMS용 SiCOI 구조 제조

정수용, 우형순, 정귀상
동서대학교 정보시스템공학부

Fabrication of SiCOI Structures Using SDB and Etch-back Technology for MEMS Applications

Su-Yong Jung, Hyung-Soon Woo, and Gwi-Yang Chung
School of Information System Eng., Dongseo University

Abstract

This paper describes the fabrication and characteristics of 3C-SiCOI structures by SDB and etch-back technology for high-temperature MEMS applications. In this work, insulator layers were formed on a heteroepitaxial 3C-SiC film grown on a Si(001) wafer by thermal wet oxidation and PECVD process, successively. The pre-bonding of two polished PECVD oxide layers made the surface activation in HF and bonded under applied pressure. The wafer bonding characteristics were evaluated by the effect of HF concentration used in the surface treatment on the roughness of the oxide and pre-bonding strength. Hydrophilic character of the oxidized 3C-SiC film surface was investigated by ATR-FTIR. The strength of the bond was measured by tensile strengthmeter. The bonded interface was also analyzed by SEM. The properties of fabricated 3C-SiCOI structures using etch-back technology in TMAH solution were analyzed by XRD and SEM. These results indicate that the 3C-SiCOI structure will offers significant advantages in the high-temperature MEMS applications.

Key Words : SiCOI(Silicon carbide on Insulator), SDB(Silicon Direct Bonding), etch-back

1. 서 론

SiC는 Si보다 밴드갭이 2~3배 크기때문에 고온에서 누설전류가 적으며 전계과피 강도가 약 10배 정도 높으므로 소자의 드리프트층 두께를 극히 얇게 할 수 있다. 또한, Si보다 열전도도와 전자의 포화 드리프트속도가 약 3배정도 크기때문에 소자의 고온 동작에 매우 유리하다. 특히, SiC는 기계적 특성이 우수하고 고온에서도 안정적이며 화학적으로 불활성이며 내부식성이 강하기 때문에 초고온에서도 사용가능한 장점을 가지고 있다[1].

3C-SiC는 벌크 형태의 성장이 불가능하지만, 대면적의 Si기판위에 이종성장이 가능하다. 전자 및 기계적 특성이 bulk SiC에 상응하고 Si 공정기술을 이용할 수 있기 때문에 고온용 MEMS(Micro Electro Mechanical System) 소자 제작에 적합한 광대역 반도체 재료이다[2]. 그러나, 단결정 3C-SiC의 이종결정성장은 Si과 3C-SiC간의 격자부정

합과 열팽창계수차로 인해 3C-SiC 박막의 높은 결합밀도와 Si와 SiC 경계면에서의 큰 누설전류가 문제가 된다. 따라서, Si 마이크로머시닝기술로 800℃까지도 사용 가능한 초고온용 MEMS를 개발하기 위해 절연막위에 단결정 3C-SiC 층이 존재하는 SiCOI(SiC-on-Insulator)구조 제작에 관한 연구가 선행되어야 한다.

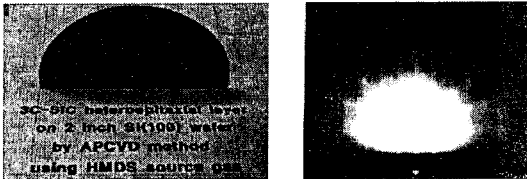
본 연구에서는 APCVD법으로 2" Si(100)기판위에 3C-SiC 박막을 성장했으며 RHEED, XRD, Raman scattering, AFM, XPS로 각각 물리적, 화학적 특성을 평가했다. 또한, 성장된 3C-SiC 박막위에 증착온도가 낮아 thermal stress가 작고, 짧은 시간에 두꺼운 산화막 증착이 가능하며 직접접합시 접합강도가 우수한 PECVD 절연막을 접합 매개층으로 3C-SiC기판의 직접접합 특성을 분석했다. 최종적으로, 접합된 기판은 etch-back 기술을 사용하여 SiCOI 구조로 제조하였다.

2. 실험

SiCOI 구조 제조공정은 다음과 같이 제작하였다. Si(100)기판 위에 성장된 단결정 3C-SiC 박막을 갖는 handling 기판과 Si기판을 active 기판으로 사용하였다. 먼저 APCVD법으로 handling 기판 위에 단결정 3C-SiC를 결정 성장시킨 후, 3C-SiC 박막과 산화막의 화학적 결합력을 높이기 위하여 wet oxidation을 이용해 1500Å 두께의 절연막을 형성하였다. 또한 1.5 μm 두께의 PECVD oxide를 절연막이 형성된 handling 기판 위에 증착하였다. 그리고 접합할 기판의 표면 평탄도 향상을 위하여 PECVD oxide에 CMP 공정을 하였으며[3], active wafer에 1.5 μm 두께의 PECVD oxide를 증착하였다. HF 전처리를 이용하여 두 장의 기판을 친수화 처리한 후, vacuum chamber에서 초기접합 및 열처리(1100°C, 1hr.)를 수행하였다. 결과적으로 3C-SiC 박막을 식각정지층으로 이용하여 etch-back 기술로 SiCOI 구조를 제조하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1(a)와 (b)는 2" Si(100)기판위에 성장된 3C-SiC 박막의 거울면 사진과 RHEED 패턴을 각각 나타낸 것이다. 성장된 3C-SiC 박막은 거울면과 같고 기판의 투사 방향은 [011]이며 streak 패턴으로 나타났다. 성장된 박막이 결합이 적고, 결정성이 뛰어난을 알 수 있다.



(a) 거울면 사진 (b) RHEED 패턴

그림 1. Si(100)기판에 성장된 3C-SiC 박막의 (a) 거울면 사진, (b) <011>의 RHEED 패턴.

Fig. 1. (a) Mirror surface, (b) RHEED pattern with <100> of 3C-SiC thin-films grown on Si(100) wafers.

그림 2은 Si(100)기판위에 성장된 단결정 3C-SiC 박막의 XRD 패턴이다. X-선 회절 스펙트럼을 얻기 위하여 2θ를 20~80° 범위에서 측정하였다.

3C-SiC 박막은 2θ = 41.5°와 69°에서 매우 높고 강한 두 개의 피크가 관찰되었다. 이것은 Si(100)기판위에 성장된 단결정 3C-SiC (200) 피크와 기판인 Si의 (400) 피크로써 Iwanowski 등의 연구결과와 일치한다[4].

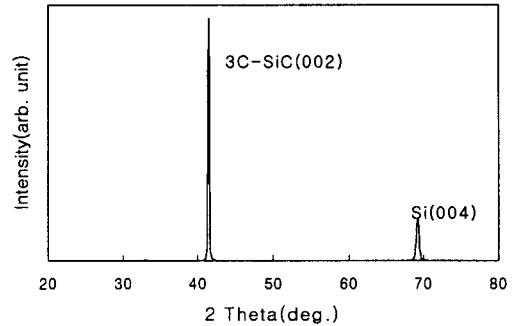


그림 2. Si(100)기판위에 성장된 3C-SiC 박막의 XRD 패턴도.

Fig. 2. XRD pattern of 3C-SiC thin-films grown on Si(100) wafers.

그림 3는 3C-SiC 박막의 XPS 분석 결과이다. 분석용 spot size는 500 μm, wide scan으로 분석하였다. 그림 3는 3C-SiC 박막의 표면을 30초간 sputtering으로 박막을 깎은 후, 측정된 박막내의 화학조성을 scan한 것으로 Si와 C가 주성분으로 나타났다. 각각의 피크 결합에너지는 Si-C의 결합에 의한 282.5와 100.3 eV로 나타났다[5, 6]. 따라서, 성장된 박막의 화학적 조성이 Si-C의 결합에 의해 단결정 3C-SiC로 합성되었다.

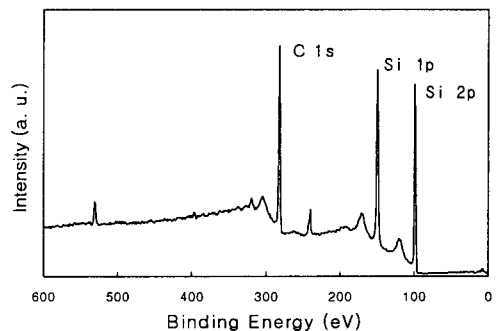


그림 3. Si(100)기판위에 성장된 3C-SiC 박막의 XPS 스펙트럼.

Fig. 3. XPS spectra of 3C-SiC thin-film grown on Si(100) wafer.

그림 4는 3C-SiC 박막의 Raman 분석 결과이다. 796 cm^{-1} 에서 약한 피크와 $973\pm 1\text{ cm}^{-1}$ 에서 강한 피크가 관찰되었다. 이것은 3C-SiC 박막의 LO(longitudinal optical)와 TO(transverse optical) 피크이다. 또한, LO 피크가 $973\pm 1\text{ cm}^{-1}$ 에서 강한 것으로 볼 때 성장된 3C-SiC 박막은 양호한 단결정이다. 또한, 박막의 두께가 증가함에 따라 LO 피크가 증가하였다. 이중 성장된 박막의 스트레스를 분석하기 위해 Si 기판을 제거했을 때 3C-SiC의 LO 피크는 974.52 cm^{-1} 로 이동하였다. 이는 3C-SiC 박막과 Si 사이에 존재하는 20%의 격자부정합으로 인한 tensile biaxial stress 때문으로 판단된다. Si 기판을 제거한 3C-SiC 박막은 스트레스가 거의 존재하지 않으며, Si 위에 성장된 3C-SiC 박막은 박막 내에 존재하는 tensile stress로 인해 LO 피크가 낮은 에너지 대역으로 이동하였다.

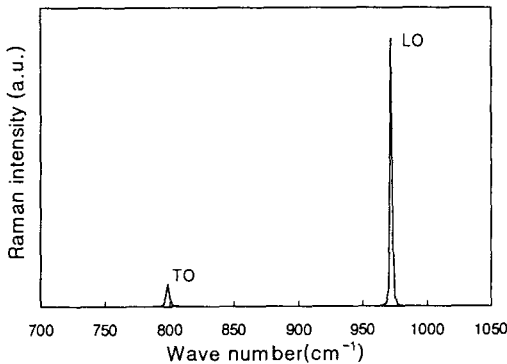


그림 4. Si(100)기판위에 성장된 3C-SiC 박막의 Raman 스펙트럼.
Fig. 4. Raman spectra of 3C-SiC thin-film grown on Si(100) wafer.

그림 5는 초기접합강도가 가장 크게 나타난 HF 전처리 용액의 농도 2.0%와 초기접합시 인가하중 0.1 kg/cm^2 에서 초기접합 후, 1100°C 에서 60분간 N_2 분위기에서 열처리한 기판의 접합경계면 부분을 나타낸 SEM 사진으로 PECVD 절연막 경계면이 열처리를 행하므로 화학적 반응에 의해 접합경계가 없는 단일 절연막이 형성됨을 확인할 수 있다.

그림 6은 etch-back 후, 3C-SiC 박막의 XRD 패턴을 나타낸 것이다. 분석조건은 앞서 분석한 조건과 동일하다. 3C-SiC 박막은 $2\theta=41.5^\circ$ 와 69° 에서 두 개의 피크가 관찰되었으며, 이것은 Si(100)기판위에 성장된 3C-SiC 단결정의 SiC(200) 피크와 기판인 Si(400) 피크로 박막 성장 후 XRD

패턴과 동일하였다. 그러나, 3C-SiC 회절 피크의 경우 피크의 강도가 작고, 폭이 넓게 나타났다. 이는 3C-SiC 박막 성장시 결정의 크기가 박막의 두께가 증가함에 따라 증가했음을 알 수 있다.

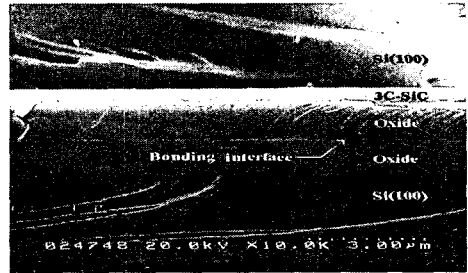


그림 5. PECVD 절연막을 매개층으로 이용해 접합한 2" 3C-SiC기판의 단면 SEM.

Fig. 5. Cross-sectional SEM images of bonded 2" 3C-SiC wafers using PECVD insulator as an interlayer.

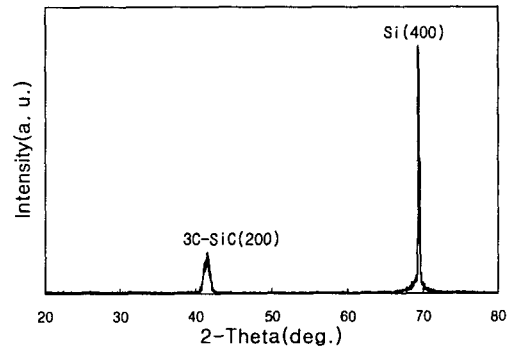


그림 6. Etch-back된 SiCOI 구조의 XRD 패턴도.
Fig. 6. XRD pattern of SiCOI structures fabricated by etch-back technology.

그림 7은 etch-back 후, 3C-SiC 박막의 표면의 AFM 이미지이다. 박막 표면의 RMS roughness는 210 \AA 으로 거칠게 나타났다. 이는 박막 성장시 Si(100)기판과 3C-SiC간의 열팽창계수(8%)와 격자부정합(20%), 결정성장 초기의 결정크기가 작음으로 박막표면이 매우 거칠게 나타나는 것이다.

그림 8는 SDB와 etch-back 기술로 제작된 SiCOI 구조의 접합계면 부분을 나타낸 SEM 이미지이다. 이는 열처리를 행하여도 접합 매개층인 $\text{SiO}_2\text{-SiO}_2$ 접합계면이 화학적 반응으로 존재하지 않는 PECVD 절연막위에 SiC가 존재하는 SiCOI 구조이다.

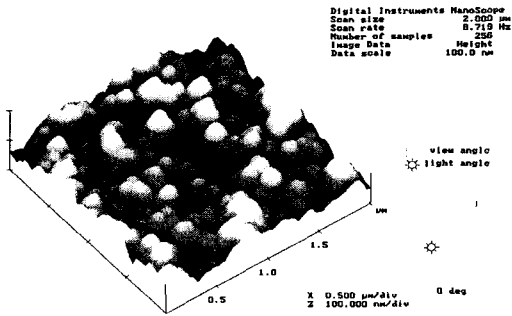


그림 7. Etch-back 후 SiCOI의 AFM 사진.
Fig. 7. AFM images of SiCOI after etch-back.

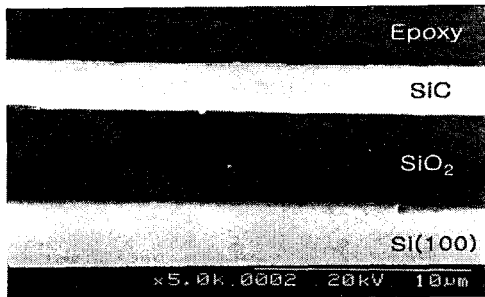


그림 8. SDB와 etch-back 기술로 제작된 SiCOI 구조의 단면 SEM 이미지.
Fig. 8 SEM image of SiCOI structures fabricated by SDB and etch-back technology.

4. 결론

본 연구에서는 이종결정 성장된 3C-SiC 박막과 Si기판간의 높은 결합밀도 해결을 위하여 직접접합시 접합강도가 우수한 PECVD 산화막을 접합 매개층으로 사용하고 SDB와 etch-back 기술을 이용하여 SiCOI 구조를 제조하였다. XRD와 XPS 분석을 통해 화학적 조성이 Si와 C인 단결정 3C-SiC이며, RHEED, AFM, TEM, Raman spectra를 이용하여 박막내에 뒤틀림이나 다른 적층결합, 잔류응력 등이 거의 없는 양질의 3C-SiC 박막이 성장되었음을 확인하였다. Etch-back 후, XRD 분석으로부터 식각정지층이 단결정 3C-SiC 박막임을 확인하였고, SEM 분석을 통해 접합계면(SiO₂-SiO₂)이 존재하지 않는 절연막위에 단결정 3C-SiC가 존재하는 SiCOI 구조임을 알 수 있었다.

본 연구에서 제안된 PECVD 산화막을 매개층으

로 사용한 SDB와 etch-back 기술로 제작한 단결정 3C-SiCOI 구조는 Si 마이크로머시닝기술과 3C-SiC 소자제작공정기술을 이용한다면 초고온 MEM 연구개발에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부의 2002년도 지역기술개발 연구사업 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] Y. T. Yang, K. L. Ekinci, X. M. H. Huang, L. M. Schiavone, and M. L. Roukes, "Monocrystalline silicon carbide nanoelectro mechanical systems", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 2, p. 165, 2001.
- [2] Q. Y. Tong and U. Gosele, "Silicon carbide wafer bonding", J. Electrochem. Soc., Vol. 142, No. 1, p. 232, 1995.
- [3] H. S. Lee, S. H. Lim, M. K. Kim, and B. S. Han, "Surface characteristic of silicon-oxide film by CMP polishing", J. of KIEEME, Vol. 12, No. 7, p. 481, 1999.
- [4] R. J. Iwanowski, K. Fronc, W. Paszkowicz, and M. Heinonen, "XPS and XRD study of crystalline 3C-SiC grown by sublimation", J. Alloys & Compounds, Vol. 286, p. 143, 1999.
- [5] M. J. Chiang and M. H. Hon, "X-ray photoelectron spectroscopy investigation of surface pretreatments for diamond nucleation by microwave plasma chemical vapor deposition", J. Cryst. Growth, Vol. 211, p. 211, 2000.
- [6] J. H. Boo, S. B. Lee, K. S. Yu, M. M. Sung, and Y. Kim, "High vacuum chemical vapor deposition of cubic SiC thin films on Si(100) substrates using single source precursor", Surf. & Coat. Tech., Vol. 131, p. 147, 2000.