

극한환경 MEMS용 2 inch 3C-SiC 기판의 직접접합 특성

정연식*, 류지구*, 김규현**, 정귀상**

부경대학교*, 동서대학교**

Direct Bonding Characteristics of 2 inch 3C-SiC Wafers for MEMS in Harsh Environments

Yun-Sik Chung*, Ji-Goo Ryu*, Kyu-Hyun Kim**, Gwi-y Sang Chung**

Pukyong National Univ., Dongseo Univ.**

Abstract

SiC direct bonding technology is very attractive for both SiCOI(SiC-on-insulator) electric devices and SiC-MEMS(micro electro mechanical system) fields because of its application possibility in harsh environments. This paper presents pre-bonding techniques with variation of HF pre-treatment conditions for 2 inch SiC wafer direct bonding using PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition) oxide. The PECVD oxide was characterized by XPS(X-ray photoelectron spectrometer) and AFM(atomic force microscopy). The characteristics of the bonded sample were measured under different bonding conditions of HF concentration and an applied pressure. The bonding strength was evaluated by the tensile strength method. The bonded interface was analyzed by using IR camera and SEM(scanning electron microscope). Components existed in the interlayer were analyzed by using FT-IR(fourier transform infrared spectroscopy). The bonding strength was varied with HF pre-treatment conditions before the pre-bonding in the range of 5.3 kgf/cm² to 15.5 kgf/cm².

Key Words : 3C-SiC, pre-bonding, CVD, SiCOI, MEMS, XPS, AFM, FT-IR, SEM, bonding strength

1. 서론

최근 미국, 일본 등의 기술선진국에서는 고내열, 내방사성, 내부식성, 내산화성, 고열전도, 고내전압 뿐만 아니라 기계적 특성이 Si 및 GaAs보다도 훨씬 우수한 특성을 갖는 탄화규소(SiC : Silicon Carbide)가 차세대 반도체로 특히, 극한 환경에서도 사용 가능한 최고의 소재로 제안되고 있다[1]. 현재, 300℃를 넘는 온도영역에서는 Si 소재로써의 한계로 인해 SOI 소자는 주로 저전력 고온소자로 사용되고 있다[2]. 이 때문에 200~300℃ 온도범위에서는 SOI와 SiC가 함께 사용될 것이며, 300℃ 이상의 고온영역에서는 향후 SiC 소자가 적용될

것으로 예상된다. 또한, 최근 급속히 발전한 Si 마이크로머시닝기술을 기반으로 극한 환경용 SiC-MEMS 분야가 크게 주목받고 있다[3]. 현재, Si 기판 위에 3C-SiC 이중결정성장층은 Si와 SiC 박막 경계면에서의 큰 누설전류와 3C-SiC 박막의 높은 결함밀도 때문에 소자의 성능이 크게 떨어진다[4].

본 연구는 절연막 위에 단결정 3C-SiC 박막층을 갖는 극한 환경용 SiCOI 구조를 제작하여 3C-SiC와 Si 경계면에서의 높은 결함밀도 문제점 해결과 표면 마이크로머시닝기술에 의한 극한 환경용 MEMS에 응용하기 위한 선행기술인 3C-SiC 기판의 초기직접접합에 관한 것이다. SiC 박막상의 절연막 성장은 SiC의 화학적 결합력이 매우 크기 때문에 어렵고, 그 성장률이 매우 낮다[5]. 본 연구에

서 직접접합 대개층으로 사용된 PECVD 절연막은 열산화막에 비해 증착 후 표면 거칠기가 거칠지만, 증착온도가 낮아 thermal stress가 작고, 짧은 시간에 두꺼운 절연막의 증착이 가능하며 직접접합시 접합강도가 우수하다[6]. 증착된 PECVD 절연막의 친수성 특성 및 박막내 화학조성은 FT-IR과 XPS, 박막의 표면 거칠기는 AFM, 초기접합 조건에 따른 접합력은 인장시험기, 그리고 접합계면은 IR image와 SEM으로 각각 분석·평가했다.

2. 실험

본 연구는 2 inch Si(100) 기판 위에 이중성장된 단결정 3C-SiC 박막을 갖는 handling 기판과 2 inch Si(100) 기판을 active 기판으로 각각 사용하였다. SiCOI 구조용 3C-SiC 기판의 직접접합 공정을 간략히 설명하면 다음과 같다. 먼저, 단일 선구체로 HMDS (hexamethyldisilane; $(\text{CH}_3)_6\text{Si}_2$), pursing 및 운반가스로 Ar과 N_2 를 각각 사용하여 APCVD법으로 1350°C에서 3C-SiC박막을 handling 기판 위에 이중결정 성장시켰다[7]. 기본 RCA 세정 후, 성장된 3C-SiC 박막과 절연막의 화학적 결합력을 높이기 위해 1100°C에서 4 시간동안 2000 Å의 열산화막을 성장했으며[8], 300°C에서 45 분간 1 μm의 PECVD 절연막을 각각 증착 하였다. 한편, active wafer는 1 μm의 PECVD 절연막을 증착 하였다. 초기접합을 위해 각각의 기판을 1000°C 열처리와 CMP(chemical mechanical polishing)공정을 수행하였다[9].

초기접합을 위한 기판의 세척공정 순서는 CMP 공정 후 표면에 존재하는 slurry를 제거하기 위해 초음파 세척 후, HCl과 H_2O_2 를 혼합한 용액과 H_2SO_4 와 H_2O_2 를 혼합한 용액에 10분간 순차적으로 세정한 후에 질소 가스로 건조하였다. 그리고 초기접합을 위해 HF와 H_2O 를 각각의 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)로 희석한 용액에서 1분간 전처리 하였고, 전처리된 시편을 DI water에 세정하였다. 충분한 초기접합 강도를 얻기 위해서 기판접합에 영향을 미치는 이온들이 기판 표면에 다량으로 존재할 수 있도록 건조되지 않은 상태에서 초기접합을 하였다. 초기접합시 인가하중은 각각 0.1, 0.5, 1.0 kg/cm²로 HF의 농도와 초기접합시의 인가하중에 따른 초기접합력의 변화를 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 각 공정별 박막 표면 거칠기를 AFM으로 분석한 것이다. 그림 1(a)는 APCVD 법으로 성장된 3C-SiC 박막의 표면 거칠기(R_{MS})는 65.8Å이다. 한편, 그림 1(b)와 (c)는 3C-SiC 박막 위에 순차적으로 열산화막과 PECVD 절연막을 각각 형성했을 경우, 표면 거칠기가 89.08Å과 86.7Å으로 산화 후 더욱 거친 박막 표면이 나타났다. 외부 인가하중 없는 자발적인 초기접합을 위해서는 박막 표면 거칠기가 5Å 이하가 되어야한다[6]. 그림 1(d)는 CMP 후의 AFM 이미지로 평균 표면 거칠기가 3.97Å으로 자발적인 접합이 가능한 매우 평탄한 박막표면을 얻었다.

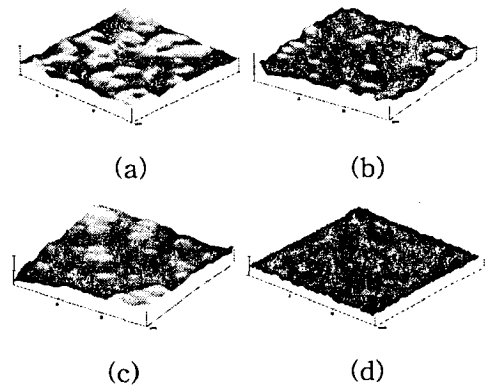


그림 1. 각 공정별 박막 표면의 AFM 이미지.

Fig. 1. AFM images according to each process sequences.

그림 2는 PECVD 공정에 의해 증착된 절연막의 화학조성을 XPS로 분석한 결과이다. 습식산화 후 증착된 PECVD 절연막 표면을 survey scan한 것이다. 그래프 (1)에서는 C 피크가 282.5 eV에서 나타났지만, 30초간 아르곤 이온(Ar⁺) 스테터링으로 절연막을 깎은 후에는 그래프 (2)처럼 절연막내 화학조성에서는 C가 나타나지 않는다. 이 C 피크는 측정시 대기의 오염이며, 절연막내 화학조성은 Si 과 O가 주성분인 SiO_2 가 나타났다. O 1s 피크의 결합에너지는 530.8 eV, Si 2p 피크의 결합에너지는 102.5 eV로 각각 나타났다. 이는 다른 연구결과들과 일치하였다[10-11].

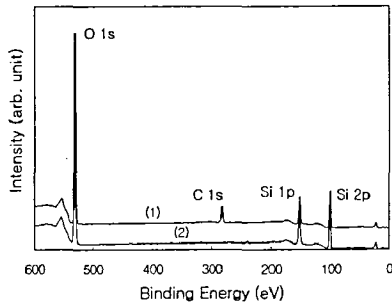


그림 2. PECVD 절연막의 XPS spectra.

Fig. 2. XPS spectra of PECVD oxide.

그림 3은 HF 전처리 용액의 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)에 따른 PECVD 절연막의 FT-IR spectra를 나타낸 것이다. 1090cm^{-1} 주변에서 투과되는 파장 영역은 siloxane(Si-O-Si) 결합구조의 stretching, 820 cm^{-1} 주변의 파장영역은 bending, 450 cm^{-1} 의 파장영역에서는 rocking이 나타났다[12]. $1600\sim 1800\text{ cm}^{-1}$ 의 영역은 공기중의 수증기에 의한 투과를 나타낸다. $3200\sim 3500\text{ cm}^{-1}$ 사이의 영역은 접합면에서의 H_2O 분자에 의한 투과이다. 3550 cm^{-1} 에서의 피크는 서로 수소결합(hydrogen-bonded)된 두 개의 인접한 OH-group쌍 때문이며 3650 cm^{-1} 에서의 피크는 복합적으로 수소결합된 여러 개의 인접한 OH-group쌍 때문이다. 그리고 3750 cm^{-1} 에서는 단일 OH-group 때문에 나타나는 결과이다[13]. 이상과 같이 나타난 결과에서 초기접합력이 크게 영향을 미치는 OH-group이나 OH-group사이의 수소결합이 존재함을 확인할 수 있다.

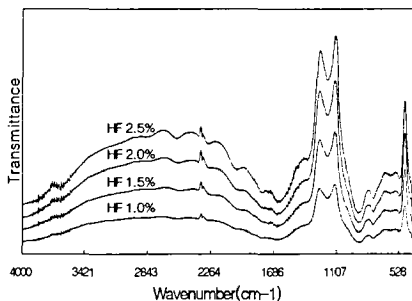


그림 3. HF 농도에 따른 PECVD 산화막의 FT-IR transmittance spectra.

Fig. 3. FT-IR transmittance spectra of PECVD oxide with variation of HF concentration.

그림 4는 고정된 인가하중(0.1 kg/cm^2)하에서 HF 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)에 따른 초기접합된 접합기판들의 접합강도를 나타낸 것이다. HF 농도에 따른 초기 접합강도는 HF 농도가 증가할수록 최소 5.3 kgf/cm^2 에서 최대 약 15.5 kgf/cm^2 까지 증가했다. 특히 HF 농도가 2.0 %에서 최대의 초기접합강도를 갖는 것으로 나타났고, 그 이상의 농도에서는 접합강도가 다소 감소하는 결과가 나타났다 [14]. 이는 HF 농도증가에 따른 박막표면의 거칠기가 많이 증가되었기 때문으로 사료된다.

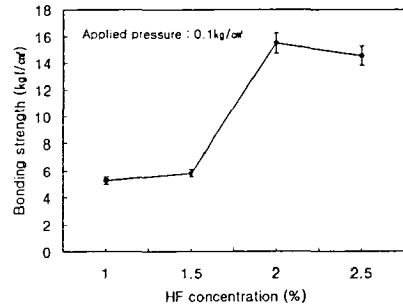


그림 4. HF 전처리 농도에 따른 초기접합력.

Fig. 4. Pre-bonding strength due to HF concentration.

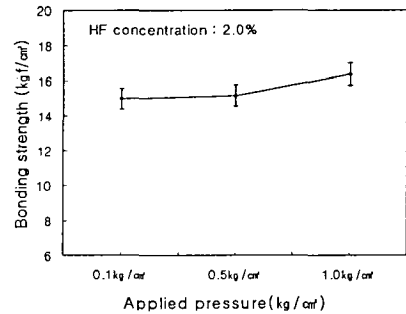


그림 5. 인가하중에 따른 초기접합력.

Fig. 5. Pre-bonding strength with variation of applied pressure.

그림 5는 초기접합강도가 가장 크게 나타난 희석된 HF(2.0 %)용액에서 인가하중($0.1, 0.5, 1.0\text{ kg/cm}^2$)의 변화에 따른 초기접합 강도의 변화를 나타낸 것이다. 초기접합강도는 인가하중의 증가에 따라

조금씩 증가하는데, 이것을 그림 4의 HF 농도 변화에 따른 접합강도의 변화와 비교해 볼 때, 접합강도는 초기접합시의 인가하중의 무게보다는 HF 농도 변화에 크게 의존함을 알 수 있다.

그림 6(a)는 초기접합된 기판의 접합계면 상태를 평가한 IR 카메라 이미지 사진이다. 접합면 사이에 미접합 부분이 없는 전면이 완벽하게 접합된 상태를 보여준다. 그림 6(b)는 초기접합강도가 가장 크게 나타난 HF 전처리 용액의 농도 2.0 %와 초기접합시 인가하중 0.1 kg/cm²에서 초기접합 후, 1100℃에서 60분간 N₂ 분위기에서 열처리를 수행한 기판의 접합경계면 부분을 나타낸 SEM 사진으로 PECVD 절연막 경계면이 열처리를 행하므로 화학적 반응에 의해 접합경계가 존재하지 않는 단일 절연막이 형성됨을 확인할 수 있다.

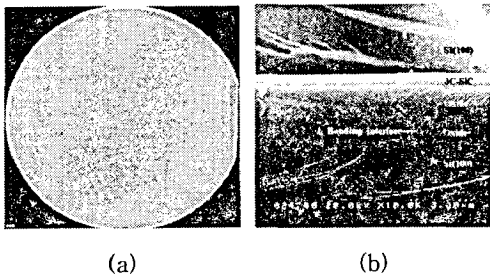


그림 6. (a) IR image (b) 열처리 후 접합경계면의 SEM image.

Fig. 6. (a) IR image (b) SEM image of bonding interface after annealing.

4. 결론

본 연구에서는 2 inch Si(100) 기판 위에 이중 성장된 3C-SiC 박막 위에 접합 매개층으로 PECVD 절연막을 증착시킨 handling 기판과 2 inch Si(100) 기판 위에 PECVD 절연막을 증착시킨 active 기판의 초기직접접합을 수행하였다.

① HF 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)에 따른 초기접합강도(최소 5.3 kgf/cm²에서 최고 15.5 kgf/cm²)는 HF 농도가 높을수록 크게 나타났으며, 인가하중(0.1, 0.5, 1.0 kg/cm²)에 따른 접합강도의 변화는 작은 하중사이에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

② HF 전처리와 DI water에 세정을 병행한 상태에서 건조하지 않고 초기접합을 수행한 결과 상온

에서도 충분한 접합력을 나타냈으며 이는 상온에서의 초기접합시 발생하는 다수의 물(H₂O) 분자에 의한 Si-O-Si(siloxane)결합 때문이라 사료된다.

③ 초기접합 후, N₂ 분위기에서 열처리(1100℃, 60 min)를 수행한 결과 접합면의 접합강도가 벌크와 거의 동등한 것으로 나타났다.

이상에서 기술한 결론으로부터 단결정 3C-SiC 박막 성장기술과 직접접합기술을 이용한 극한환경 MEMS용 SiCOI 구조로서 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Y. T. Yang, et. al., Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 2, p. 165, 2001.
- [2] G. S. Chung, et. al., J. of KIEEME, Vol. 13, p. 431, 2000.
- [3] M. Mehregany, et. al., Thin-Solid Films, Vol. 355, p. 518, 1999.
- [4] F. Wischmeyer, et. al., Mater. Sci. Eng., Vol. B61, p. 563, 1999.
- [5] G. Lucovsky, et. al., Appl. Surf. Sci., Vol. 123, p. 435, 1998.
- [6] M. Wiegand, et. al., Sensors & Actuators, Vol. 86, p. 91, 2000.
- [7] K. I. Na, et. al., Proc. 2001 Autumn Conf. KIEEME, Vol. 14, No 1, p. 533, 2001.
- [8] C. I. Harris, et. al., Microelectronic Eng., Vol. 36, p. 167, 1997.
- [9] H. S. Lee, et. al., J. of KIEEME, Vol. 12, No. 7, p. 481, 1999.
- [10] M. Sreemany, et. al., Mater. Res. Bull., Vol. 33, No. 2, p. 189, 1998.
- [11] R. J. Iwanowski, et. al., J. Alloys & Compounds, Vol. 286, p. 143, 1999.
- [12] M. T. Kim, et. al., Thin-Solid Films, p. 60, 2000.
- [13] H. Nakanishi, et. al., Proc. of 10th IEEE MEMS Workshop, p. 609, 1998.
- [14] A. Berthold, et. al., Sensors & Actuators, Vol. A68, p. 410, 1998.