

극한 환경 MEMS용 3C-SiC기판의 직접접합

정연식¹, 이종춘², 정귀성²
 동서대학교¹, 경남정보대²

Direct Bonding of 3C-SiC Wafer for MEMS in Harsh Environments

Yun-Sik Chung¹, Jong-Chun², Gwi-Sang Chung²
 Dongseo University¹, Kyungnam College of Information and Technology²

Abstract - SiC direct bonding technology is very attractive for both SiCOI(SiC-on-insulator) electric devices and SiC-MEMS fields because of its application possibility in harsh environments. This paper presents on pre-bonding according to HF pre-treatment conditions in SiC wafer direct bonding using PECVD oxide. The PECVD oxide was characterized by XPS and AFM, respectively. The characteristics of bonded sample were measured under different bonding conditions of HF concentration and applied pressure, respectively. The bonding strength was evaluated by tensile strength method. Components existed in the interlayer were analyzed by using FT-IR. The bond strength depends on the HF pre-treatment condition before pre-bonding (Min : 5.3 kgf/cm² ~ Max : 15.5 kgf/cm²).

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

1. 서 론

최근 미국, 일본 등의 기술선진국에서는 고내열, 내방사성, 내부식성, 내산화성, 고열전도, 고내전압뿐만 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 Si소재로써의 한계로 인해 SOI(Si-on-insulator)소자는 주로 저전력 고온소자로 사용되고 있다[2]. 이 때문에 200~300℃ 온도범위에서는 SOI와 SiC가 함께 사용될 것이며, 300℃ 이상의 고온영역에서는 향후 SiC소자가 적용될 것으로 예상된다. 또한, 최근 급속히 발전한 Si 마이크로머시닝기술을 기반으로 극한 환경용 SiC-MEMS(micro electro mechanical system)분야가 크게 주목받고 있다[3]. 현재, Si기판상에 3C-SiC hetero-epitaxial 결정성장은 Si와 SiC 박막 경계면에서의 큰 누설전류와 3C-SiC 박막의 높은 결함밀도 때문에 소자의 성능이 크게 떨어진다[4].

본 연구에서는 절연막상에 단결정 3C-SiC 박막층을 갖는 극한 환경용 SiCOI(SiC-on-Insulator)구조를 제작하여 3C-SiC와 Si 경계면에서의 높은 결함밀도 문제점 해결과 표면 마이크로머시닝기술에 의한 극한 환경용 MEMS에 응용하기 위한 선행기술인 3C-SiC기판의 초기직접접합에 관한 것이다. SiC 박막상의 절연막 성장은 SiC의 화학적 결합력이 매우 크기 때문에 어렵고, 그 성장률이 매우 낮다[5]. 본 연구에서 직접접합 매개층으로 사용된 PECVD 절연막을 Si 열산화막에 비해 증착 후 표면 거칠기가 거칠지만, 증착온도가 낮아 thermal stress가 작고, 짧은 시간에 두꺼운 절연막의 증착이 가능하며 직접접합시 접합강도가 우수하다[6]. 또한, 증착

된 PECVD 절연막의 친수성 특성 및 박막내 화학조성은 FT-IR(Fourier transform infrared spectroscopy)과 XPS(X-ray photoelectron spectrometry), 박막의 표면 거칠기는 AFM(atomic force microscopy) 그리고 초기접합 조건에 따른 접합력은 인장시험기로 각각 분석·평가했다.

2. 본 론

본 연구는 Si(100)상에 heteroepitaxial성장된 단결정 3C-SiC박막을 갖는 handling wafer와 Si(100)을 active wafer로 각각 사용했다.

그림 1은 SiCOI구조용 3C-SiC기판의 직접접합 공정 순서도이다. 먼저, APCVD법으로 4.3 μm의 단결정 3C-SiC박막을 handling wafer상에 성장했다[7]. 기본 RCA 세정후, 성장된 3C-SiC박막과 절연막의 화학적 결합력을 높이기 위해 1100℃에서 4 시간동안 2000Å의 열산화막을 성장했으며[8], 300℃에서 45 분간 1 μm의 PECVD oxide를 각각 증착했다. 한편, active wafer는 1 μm의 PECVD oxide를 증착했다. 초기접합을 위해 각각의 wafer를 1000℃ 열처리와 CMP(chemical mechanical polishing)공정을 수행했다. 증착된 절연막 표면의 평탄도를 향상시키기 위해 사용된 CMP 공정은 104 g/cm³의 인가압력하에서 table과 head의 속도는 30 rpm 그리고 slurry는 silica(SiO₂)와 14 wt%의 NH₄OH(pH 10.8)를 사용해 5분간 polishing했다.

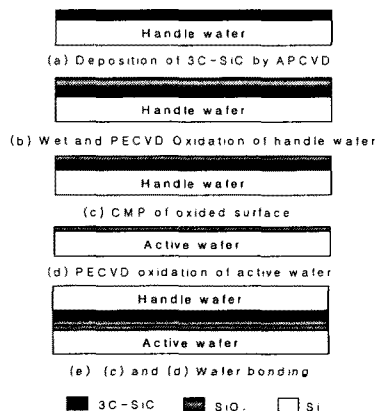


그림 1. SiCOI 구조용 3C-SiC기판의 직접접합 공정 순서도.

Fig. 1. Process sequence of direct bonding for SiCOI structures.

그림 2는 초기접합을 위한 기판의 세척공정 순서도이다. CMP공정후 표면에 존재하는 slurry를 제거하기 위해 초음파 세척 후, HCl과 H₂O₂를 혼합한 용액과 H₂SO₄

와 H₂O₂를 혼합한 용액에 10분간 순차적으로 세정한 후에 질소 가스로 건조했다. 그리고 초기접합을 위해 HF와 H₂O를 각각의 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)로 희석한 용액에서 1분간 전처리 했고, 전처리된 Sample을 DI water에 rinsing했다. 충분한 초기접합 강도를 얻기 위해서 기판접합에 영향을 미치는 이온들이 기판 표면에 다량으로 존재할 수 있도록 건조되지 않은 상태에서 초기접합을 했다. 초기접합시 인가하중은 각각 0.1, 0.5, 1.0 kg/cm²로 HF의 농도와 초기접합시의 인가하중에 따른 초기접합력의 변화를 비교하였다.

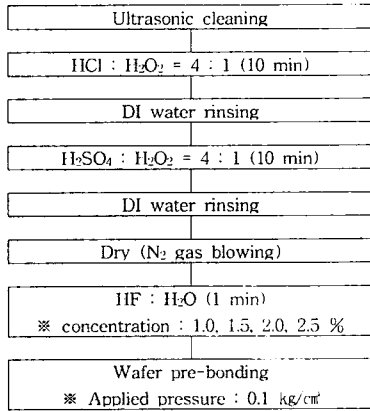


그림 2. SiC 초기접합을 위한 기판 세척 공정순서도.
Fig. 2. Cleaning process of a wafer for SiC pre-bonding.

3. 결과 및 고찰

그림 4는 각 공정별 박막표면 거칠기를 AFM으로 분석한 것이다. 그림 (a)는 APCVD법으로 성장된 3C-SiC 박막의 표면 거칠기(RMS roughness)는 65.8Å이다. 한편, 그림 (b)와 (c)는 3C-SiC박막상에 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 표면의 거칠기가 5Å 이하가 되어야 한다[6]. 그림 (d)는 CMP공정 후의 AFM 이미지로 평균 표면 거칠기가 3.97Å으로 자발적인 접합이 가능한 매우 평탄한 박막표면을 얻었다.

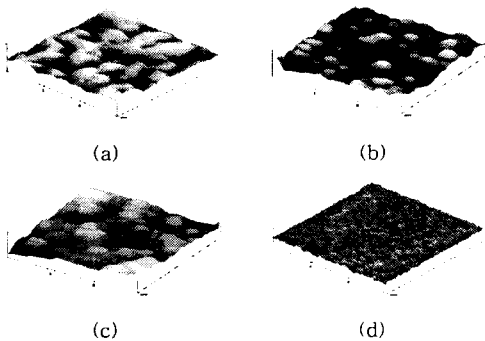


그림 4. 각 공정별 박막 표면의 AFM 이미지.
Fig. 4. AFM images according to process sequence, respectively. (a) Surface of 3C-SiC on Si(100), (b) Wet oxidation, (c) PECVD oxidation, (d) After CMP.

그림 5는 PECVD공정에 의해 증착된 절연막의 화학조성을 XPS로 분석한 결과이다. 그림 5(a)는 습식산화후 증착된 PECVD 절연막 표면을 wide-scan한 것이다. 그래프 (1)에서는 C 피크가 282.5 eV에서 나타났지만, 30초간 아르곤 이온(Ar⁺) 스퍼터링으로 절연막막을 깎은 후에는 그래프 (2)처럼 절연막막내의 화학조성에서는 C가 나타나지 않는다. 이 C 피크는 측정사 대기의 오염이며, 절연막내 화학조성은 Si와 O가 주성분인 SiO₂ 절연막이 나타났다. 그림 (b)와 (c)는 O 1s와 Si 2p 피크를 narrow scan한 것으로 O 1s peak의 Binding energy는 530.8 eV, Si 2p peak의 Binding energy는 102.5 eV로 각각 나타났다. 이는 다른 연구결과들과 일치했다[9]

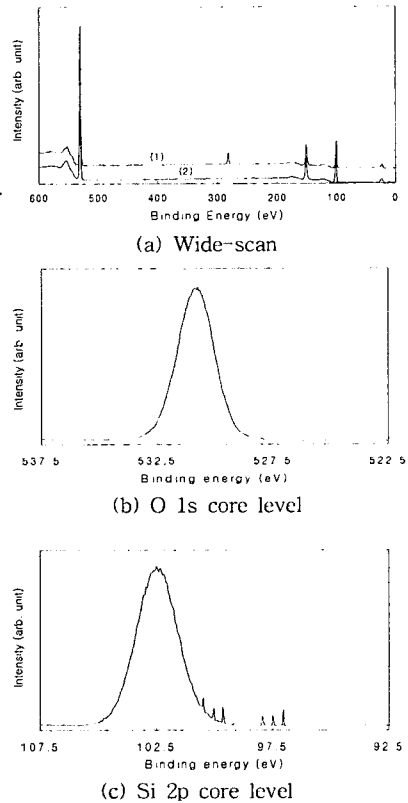


그림 5. PECVD 절연막의 XPS spectra: (a) Wide-scan, (b) O 1s 그리고 (c) Si 2p.
Fig. 5. XPS spectra of PECVD oxide: (a) Wide-scan, (b) O 1s, and (c) Si 2p.

그림 6은 HF 전처리 용액의 농도에 따른 PECVD산화막의 평탄도의 변화를 각각 나타낸 것이다. 표면의 거칠기는 전처리를 행하므로 대체적으로 거칠어지며, 특히 직접접합의 경우, 접합력은 기판 표면의 거칠기에 크게 의존한다. HF 농도가 증가함에 따라 접합력이 증가하나 2.5 %의 HF 농도에서의 초기접합력이 다소 감소하는 것은 박막표면의 거칠기가 많이 거칠어졌기 때문으로 사료된다.

그림 7은 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 파장영역은 Siloxane (Si-O-Si)결합구조의 stretching, 820 cm⁻¹주변의 파장영역은 bending, 450 cm⁻¹의 파장영역에서는 rocking이 나타났다[10]. 1600~1800 cm⁻¹의 영역은 공기중의 수증기에 의한 투과를 나타낸다. 3200 ~ 3500 cm⁻¹사이의 영

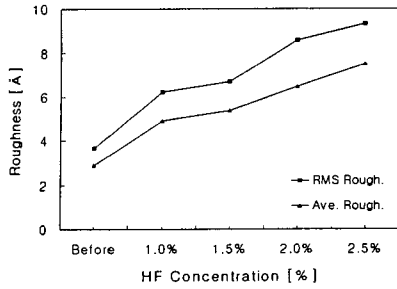


그림 6. HF 농도에 따른 PECVD 산화막의 표면 거칠기.
Fig. 6. Surface roughness of PECVD oxide according to HF concentration.

역은 접합면에서의 H₂O분자에 의한 투과이다. 3550 cm⁻¹에서의 peak는 서로 수소결합(hydrogen-bonded)된 두 개의 인접한 OH-group쌍 때문이며 3650 cm⁻¹에서의 peak는 복합적으로 수소결합된 여러 개의 인접한 OH-group쌍 때문이다. 그리고 3750 cm⁻¹에서는 단일 OH-group 때문에 나타나는 결과이다[11]. 이상과 같이 나타낸 결과에서 초기 접합력에 크게 영향을 미치는 OH-group이나 OH-group 사이의 수소결합이 존재함을 확인할 수 있다.

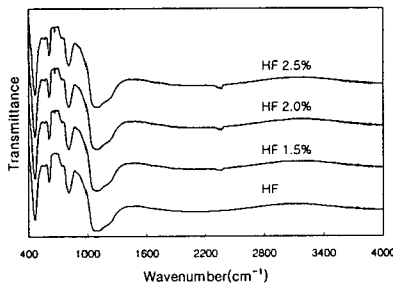


그림 7. HF 농도에 따른 PECVD 산화막의 FT-IR transmittance spectra.
Fig. 7. FT-IR transmittance spectra of PECVD oxide according to HF concentration.

그림 8는 고정된 인가하중(0.1 kg/cm²)하에서 HF 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)에 따른 초기접합된 접합 기판들의 접합강도를 나타낸 것이다. HF 농도에 따른 초기 접합강도는 HF 농도가 증가할수록 최소 5.3 kgf/cm²에서 최대 약 15.5 kgf/cm²까지 증가했다. 특히 HF 농도가 2.0 %에서 최대의 초기 접합 강도를 갖는 것으로 나타났고, 그 이상의 농도에서는 접합강도가 다소 감소하는 결과를 나타냈다[12].

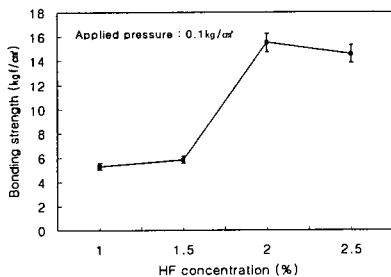


그림 8. HF 전처리 농도에 따른 초기접합력.
Fig. 8. Pre-boding strength according to HF pre-treatment concentration.

그림 9는 초기접합강도가 가장 크게 나타난 희석된 HF(2.0 %)용액에서 인가하중(0.1, 0.5, 1.0 kg/cm²)의 변화에 따른 초기접합 강도의 변화를 나타낸 것이다. 초기접합강도는 인가하중의 증가에 따라 조금씩 증가하는데, 이것을 그림 8의 HF 농도 변화에 따른 접합강도의 변화와 비교해 볼 때, 접합강도는 초기접합시의 인가하중의 무게보다는 HF 농도 변화에 크게 의존함을 알 수 있다.

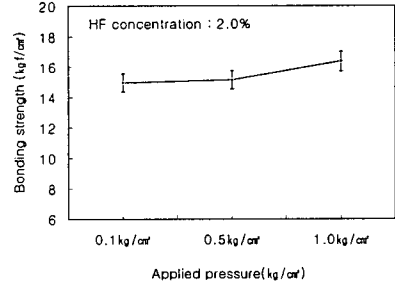


그림 9. 인가하중에 따른 초기접합력.
Fig. 9. Pre-boding strength according to applied pressure.

2. 결 론

본 연구에서는 Si(100)기판상에 heteroepitaxial 성장된 3C-SiC박막상에 접합 매개층으로 PECVD절연막을 이용한 초기직접접합을 수행했다.

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

이상에서 기술한 결론으로부터 단결정 3C-SiC박막 성장기술과 Si 마이크로머시닝기술인 직접접합을 이용한 MEMS기술을 결합한다면, SiC와 Si 경계면에서의 큰 결합밀도 문제점 해결뿐만 아니라 절연막상에 단결정 3C-SiC박막층을 갖는 극한 환경용 SiCOI 구조를 제조하여 표면 마이크로머시닝기술에 의한 극한환경용 IT, BT, NT, ET, ST용 M/NEMS(micro/nano electron mechanical system) 분야에 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

(참 고 문 헌)

- [1] Y. T. Yang et al., Appl. Phys. Lett., 78(2001)165.
- [2] G. S. Chung et al., J. of KIEEME, 13(2000)431.
- [3] M. Mehregany et al., Thin-Solid Films, 355(1999)518.
- [4] F. Wischmeyer, Mater. Sci. Eng., B61(1999)563.
- [5] G. Lucovsky, Appl. Surf. Sci., 123(1998)435.
- [6] M. Wiegand et al., Sensors & Actuators, 86(2000)91.
- [7] Y. Chen et al., Mater. Sci. Eng., B61(1999)579.
- [8] C. I. Harris et al., Microelectronic Eng., 36(1997)167.
- [9] M. Seeemany et al., Mater. Res. Bull., 33(1998)189.
- [10] M. T. Kim, Thin-Solid Film, (2000)100.
- [11] H. Nakanishi, Proc. of 10th IEEE MEMS Workshop, (1998)609.
- [12] A. Berthold, Sensors & ActuatorsA, 68(1998)410.