

## CVD 절연막을 이용한 3C-SiC기판의 직접접합에 관한 연구

### A Study on Direct Bonding of 3C-SiC Wafers Using PECVD Oxide

정연식\*, 류지구\*, 정귀상\*\*

(Yun-Sik Chung\*, Ji-Goo Ryu\*, Gwi-Sang Chung\*\*)

#### Abstract

SiC direct bonding technology is very attractive for both SiCOI(SiC-on-insulator) electric devices and SiC-MEMS applications 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 characteristics of bonded sample were measured under different bonding conditions of HF concentration, and applied pressure. The 3C-SiC epitaxial films grown on Si(100) were characterized by AFM and XPS, 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/cm<sup>2</sup> ~ Max : 15.5 kgf/cm<sup>2</sup>).

**Key Words** : 3C-SiC, SiCOI, SiC-MEMS, XPS, AFM

#### 1. 서 론<sup>1)</sup>

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°C를 넘는 온도영역에서는 Si 소재로써의 한계로 인해 SOI(Si-on-insulator)소자는 주로 저전력 고온소자로 사용되고 있다. 이 때문에 200~300°C 온도범위에서는 SOI와 SiC가 함께 사용될 것이다. 또한, 300°C 이상의 고온영역에서는 향후 SiC소자가 적용될 것

로 예상되며, 근래 급속히 발전한 Si 마이크로머시닝 기술 다음의 차세대 SiC-MEMS분야가 크게 주목받고 있다[2-3].

Bulk(6H 또는 4H) SiC기판은 결정성장이 어렵고, 그 크기가 2 inch로 제한되며 고가이다. Polytype-SiC중에서 입방형 결정구조인 3C-SiC는 벌크 재료로 성장이 불가능하나, 대면적의 Si기판위에 hetero-epitaxial에 의한 대면적 성장이 가능하며, 전자 및 기계적 특성 또한 bulk SiC에 상응하고 batch process에 의한 기존의 Si foundary를 이용할 수 있다. 그러나, 고온에서의 heteroepitaxial 결정성장 때문에 Si와 SiC박막 경계면에서의 큰 누설전류와 3C-SiC박막의 높은 결함밀도 때문에 소자의 성능이 크게 떨어진다[4].

본 연구에서는 먼저, 낮은 온도에서 쉽게 분해되며 위험성이 없는 HMDS(hexamethyldisilane)를 single precursor로 사용하여 APCVD법으로 Si기판위에 성장된 3C-SiC박막의 결정성을 분석 및 평가했다. 또한, SiC와 Si 경계면에서의 큰 결함밀도 문

\* 부경대학교 전자공학과

\*\* 동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스공학전공  
(부산시 사상구 주례동 산 69-1번지, Fax: 051-315-1592, E-mail : gschung@dongseo.ac.kr)

그림 2의 (a)는 wet oxidation 후 증착된 PECVD 절연막 표면을 Wide-scan 한 것으로 282.5 eV에서 나타나는 (1) 탄소피크는 (2) 30초간 아르곤 이온 ( $Ar^+$ ) 스퍼터링으로 박막을 깎은 후 측정된 박막내의 화학조성에서는 나타나지 않는다. 이 탄소피크는 측정시 대기의 오염이며, 박막내 화학조성은 실리콘과 산소가 주성분인  $SiO_2$  절연막이다. 그림 (b)와 (c)는 O 1s와 Si 2p 피크를 narrow scan한 것으로 O 1s peak의 Binding energy는 530 eV, Si 2p peak의 Binding energy는 102.5 eV로 각각 나타났다. 이는 다른 연구결과와 동일했다[8].

그림 3은 각 공정별 박막표면의 표면 거칠기를 AFM으로 분석한 것이다. 그림 (a)는 APCVD법으로 성장된 3C-SiC 박막의 평탄도로 RMS는 65.8Å이며, 그림 (b)와 (c)는 각각 89.08Å과 86.7Å으로 산화공정 후 더욱 거친 박막표면이 나타났다. 자발적인 초기접합을 위해서는 박막의 표면의 거칠기가 5Å 이하가 되어야 한다. 그림 (d)는 CMP공정 후 평균 표면 거칠기가 3.97Å으로 자발적인 본딩이 가능한 매우 평탄한 박막표면을 얻었다.

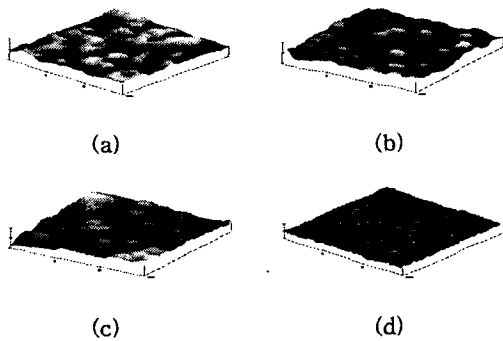


그림 3. 각 공정별 박막 표면의 AFM 이미지.

Fig. 3 According to process sequence of surface AFM image, respectively. (a) Surface of 3C-SiC on Si(100), (b) Wet oxidation, (c) PECVD oxidation, (d) After CMP

그림 4은 HF전처리 용액의 농도에 따른 PECVD 산화막의 평탄도의 변화를 나타낸 것이다. 표면의 거칠기는 전처리를 행하므로 대체적으로 거칠어지며, 특히 직접접합의 경우 접합력은 기판 표면의 거칠기에 크게 의존한다. HF농도가 증가함에 따라 접합력이 증가하나 2.5%의 HF농도에서의 초기접합력이 다소 감소하는 것은 박막표면의 거칠기가 많이 거칠어졌기 때문으로 사료되어진다.

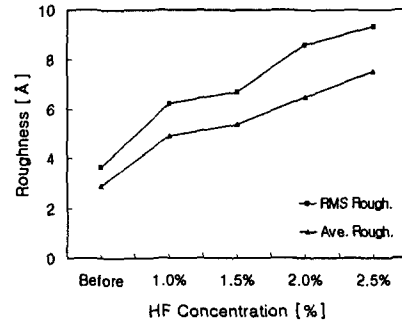


그림 4. HF 농도에 따른 PECVD 산화막의 표면 거칠기.

Fig. 4. Surface roughness of PECVD oxide according to HF concentration.

그림 5은 HF전처리 용액의 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5%)에 따른 PECVD 절연막의 FT-IR spectra를 나타낸 것이다. 일반적으로 1500  $cm^{-1}$ 이하의 영역은 벌크 Si와 oxide에 의한 투과를 나타내며, 특히 1090  $cm^{-1}$  주변에서 투과되는 파장영역은 Siloxane (Si-O-Si)결합구조의 stretching, 820  $cm^{-1}$  주변의 파장영역은 bending, 450  $cm^{-1}$ 의 파장영역에서는 rocking 이 나타나는 것으로 보고되고 있다[9]. 1600~1800  $cm^{-1}$ 의 영역은 공기중의 수증기에 의한 투과를 나타낸다. 3200~3500  $cm^{-1}$ 사이의 영역은 접합면에서의 물( $H_2O$ )분자에 의한 투과이다. 3550  $cm^{-1}$ 에서의 peak는 서로 수소결합(hydrogen-bonded)된 두 개의 인접한 OH-group쌍 때문이며 3650  $cm^{-1}$ 에서의 peak는 복합적으로 수소결합된 여러 개의 인접한 OH-group쌍 때문이다. 그리고 3750  $cm^{-1}$ 에서는 단일 OH-group 때문에 나타나는 결과이다[10].

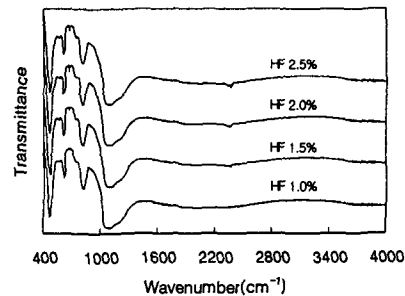


그림 5. HF 농도에 따른 PECVD 산화막의 FT-IR transmittance spectra.

Fig. 5. FT-IR transmittance spectra of PECVD oxide according to HF concentration.

각각 분석·평가했다.

## 2. 실험

본 연구에 사용된 기판은 Si(100)기판위에 heteroepitaxial 성장된 단결정 3C-SiC 박막을 갖는 handle 기판을 wet oxidation과 PECVD법으로 절연막을 각각 성장 및 증착시켰고, active 기판은 PECVD 산화막을 증착했다.

그림 1은 SiCOI 구조용 3C-SiC 기판의 직접접합 공정 순서도이다. Handle 기판은 기본 RCA 세정후, 3C-SiC 박막과 절연막간의 화학적 결합력을 높이기 위해 2000Å의 wet oxide을 성장시킨 후, wet oxide에 비해 접합강도가 크고, 저온에서 증착 가능한 PECVD 절연막을 1 μm 증착했다[7]. 한편, active wafer는 1 μm PECVD 절연막을 증착시켰다. 그 후, 접합을 위해 시편을 1000°C 열처리와 CMP(chemical mechanical polishing)공정을 수행했다. 직접접합을 위해 증착된 절연막 표면의 평탄도를 향상시키기 위해 사용된 CMP공정은 인가된 압력 104 g/cm<sup>2</sup>, Table 및 Head의 속도는 30 rpm, Slurry는 silica(SiO<sub>2</sub>)와 14 wt%의 NH<sub>4</sub>OH(pH 10.8)를 사용해서 5분간 polishing을 수행했다.

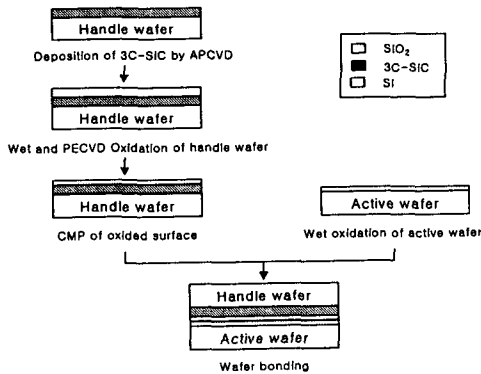


그림 1. SiCOI 구조용 3C-SiC기판의 직접접합 공정 순서도.

Fig. 1. Process sequence of Direct Bonding for SiCOI Structures.

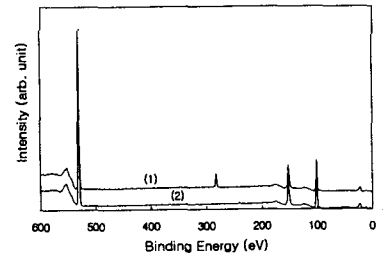
초기접합은 먼저, CMP공정후 표면에 존재하는 Slurry를 제거하기 위해 초음파 세척 후, HCl과 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 혼합한 용액과 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>와 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>를 혼합한 용액에 10분간 순차적으로 세정한 후에 질소 가스로 건조했다. 그리고 초기접합을 위해 HF와 H<sub>2</sub>O를 각각의 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)로 희석한 용액에서 1분

간 전처리 하였다. 희석용액에서 전처리된 Sample을 DI water에 rinsing하였고, 기판 표면에 기판 접합에 영향을 미치는 이온들이 다량으로 존재할 수 있도록 하여 충분한 초기접합 강도를 얻을 수 있게 건조되지 않은 상태에서 초기접합을 행하였다. 초기접합시 인가하중은 각각 0.1, 0.5, 1.0 kg/cm<sup>2</sup>로 HF의 농도와 초기접합시의 인가하중에 따른 초기접합력의 변화를 비교했다.

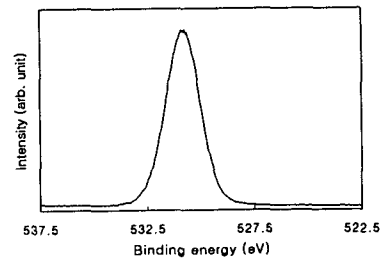
HF 전처리 조건과 인가하중에 따른 초기접합력은 인장 시험기로 분석했다. 또한, FT-IR로 HF 전처리 농도에 따른 초기접합된 기판표면의 결합 성분을 분석했다.

## 3. 결과 및 고찰

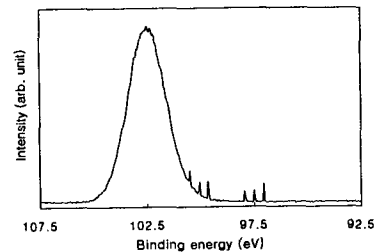
그림 2는 PECVD공정에 의해 증착된 절연막의 화학조성을 XPS로 분석한 결과이다.



(a) Wide-scan



(b) O 1s core level



(c) Si 2p core level

그림 2. PECVD 절연막의 XPS spectra.

Fig. 2. XPS spectra of PECVD isolation thin film

그림 6은 고정된 인가하중(0.1 kg/cm<sup>2</sup>)하에서 HF 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)에 따라 초기접합된 접합 기판들의 접합강도를 나타낸 것이다. HF 농도에 따른 초기 접합강도는 HF 농도가 증가할수록 최소 5.3 kgf/cm<sup>2</sup>에서 최대 약 15.5 kgf/cm<sup>2</sup>까지 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 특히 HF 농도가 2.0 %에서 최대의 초기접합 강도를 갖는 것으로 나타났고, 그 이상의 농도에서는 접합강도가 큰 변화 없이 다소 감소하는 결과를 나타내었다[11].

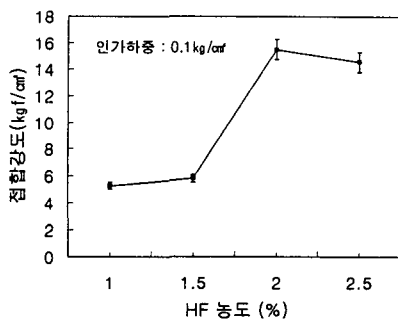


그림 6. HF 전처리 농도에 따른 초기접합력.

Fig. 6. Pre-bonding strength according to HF pre-treatment concentration.

#### 4. 결론

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

① HF 농도(1.0, 1.5, 2.0, 2.5 %)에 따른 초기접합강도는 최소 5.3 kgf/cm<sup>2</sup>에서 최고 15.5 kgf/cm<sup>2</sup>로 HF 농도 2.0 %에서 가장 크게 나타났으며, 그 이상의 농도에서는 감소하는 것으로 나타났다.

③ HF 전처리와 DI water에 세정을 병행한 상태에서 건조하지 않고 초기접합을 수행한 결과 상온에서도 충분한 접합력을 나타냈으며 이는 상온에서의 초기접합시 발생하는 다수의 물(H<sub>2</sub>O) 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 결함밀도 문제점 해결뿐만 아니라 절연막상에 단결정 3C-SiC박막층을 갖는 극한환경용 SiCOI(SiC-on-insulator)구조를 제조하여 표면 마이크로머시닝기술에 의한 극한환경용 IT, BT, NT, ET, ST 용 M/NEMS(micro/nano electron mechanical system) 분야에 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] Y. T. Yang et al., "Monocrystalline silicon-carbide nanoelectromechanical systems", Appl. Phys. Lett., Vol. 78, No. 2, p.165, 2001.
- [2] M. Mehregany et al., "SiC MEMS: opportunities and challenges for applications in harsh environments" Thin-Solid Films, Vol. 355, p. 518, 1999.
- [3] G. S. Chung et al., "The fabrication of a SDB SOI substrate by electro-chemical etch-stop", J. of KIEEME(in Korean), Vol. 13, p. 431, 2000.
- [4] F. Wischmeyer et al., "CVD growth of 3C-SiC on SOI(100) substrate with optimized interface structure", Mater. Sci. Eng. Vol. B61, p. 563, 1999.
- [5] C. Serre et al., " $\beta$ -SiC on SiO<sub>2</sub> formed by ion implantation and bonding for micromechanics applications", Sensors & Actuators Vol. 74, p. 169, 1999.
- [6] Q. Y. Tong et al., "Silicon carbide wafer bonding", J. Electrochem. Soc., Vol. 142, No. 1, p. 232, 1995.
- [7] M. Wiegand et al., "Wafer bonding of silicon wafer covered with various surface layers", Sensors & Actuators Vol. 86, p. 91, 2000.
- [8] M. Seeemany et al., "Xps studies on the oxidation behavior of SiC particles", Mater. Res. Bull., Vol. 33, No. 2, p. 189, 1998.
- [9] M. T. Kim, "Deposition kinetics of silicon dioxide from tetraethylorthosilicatie by PECVD", Thin-Solid Film, p. 60, 2000.
- [10] H. Nakanishi et al., "Studies on SiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> bonding with hydrofluoric acid : room temperature and low stress bonding technique for MEMS", Proc. of 10th IEEE MEMS Workshop, p. 609, 1998.
- [11] A. Berthold et al., "Wafer-to-wafer fusing of oxidized silicon to silicon at low temperatures", Sensor & Actuators, p. 410, 1998.