

연마액이 6H-SiC의 화학적 기계적 연마에 미치는 영향 Effect of Slurry on Chemical Mechanical Polishing of 6H-SiC

*이호준, 안준호, 정석훈, #정해도

*H. J. Lee, J. H. An, S. H. Jeong, #H. D. Jeong(hdjeong@pusan.ac.kr)
부산대학교 기계공학부

Key words : 6H-SiC, CMP, Slurry, Colloidal silica abrasive, Diamond abrasive

1. 서론

고온, 고전압 및 고주파수와 같은 극한 상황에서 작동할 수 있는 전력소자에 대한 필요성이 대두되어지며, 실리콘 전력소자가 근본적인 물성의 한계에 접근함에 따라 실리콘을 대체 할 수 있는 전력소자용 물질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 실리콘 카바이드 (SiC; silicon carbide)는 넓은 밴드갭 에너지, 높은 전자 포화속도, 높은 열전도도와 큰 항복전계 등 고온, 고출력 소자로서 적합한 물성을 갖고 있는 물질로서 최근 많은 연구 성과가 보고되고 있다[1]. 고집적 상용 디바이스에 SiC 기판 (substrate)을 적용하기 위하여 표면 결함 (defect)이 없는 경면이 요구되고, 이를 위하여 CMP (chemical mechanical polishing) 공정이 매우 중요한 역할로 고려되어 왔다. 현재까지 SiC CMP에 있어서 콜로이달 실리카 (colloidal silica) 입자를 사용한 연구는 많이 이루어져 왔다[2,3]. 그러나 결정질이 좋은 에피층 (epitaxial layer)을 성장시키기 위해서는 무결함의 경면이 요구되며, SiC의 높은 경도와 열적, 화학적으로 매우 안정한 특징 때문에 경면 형성에 어려움이 있다.

CMP 공정 전 단계로서 기계적 연마 (MP; mechanical polishing) 공정을 거치는데 이 공정을 통하여 광학 현미경 (optical microscopy)으로 관찰 시 무결함의 낮은 표면거칠기 (surface roughness)를 비교적 쉽게 얻을 수 있다. 하지만 AFM (atomic force microscopy)으로 관찰하면 스크래치 (scratch)와 같은 결함 (defect)이 남아있음을 확인 할 수 있다[4]. 본 논문에서는 콜로이달 실리카와 나노 크기의 다이아몬드 입자를 사용한 단일 그리고 혼합 슬러리를 사용함으로써 각 인자가 연마율 (removal rate), 표면거칠기에 어떠한 영향을 일으키는 지 알아보고자 한다.

2. 실험방법 및 조건

실험에 사용된 웨이퍼 (wafer)는 PVT (physical vapour transport)법을 이용하여 성장시킨 6H-SiC 단결정 웨이퍼이다. 패드 (pad)는 연질패드인 Suba 800M2 를 사용하였고 속도와 압력, 그리고 슬러리의 유량 변수는 고정시켜 슬러리 인자의 영향성을 파악하였다. 구체적인 실험 조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Wafer	2 inch silicon carbide wafer (6H-SiC on-axis)
Pad	Felt type pad (Suba 800M2)
Velocity	Head 100 rpm / Platen 100 rpm
Pressure	1.2 kg/cm ²
Slurry	CS_no. : 20 wt% Colloidal silica (KOH base, 120 nm) : 5 runs CS+Dia : Colloidal silica + Nano-diamond (50nm) : 1 run
Flow rate	120 ml/min
Process time	Each run: 1 hour

슬러리는 콜로이달 실리카 입자만 가진 단일 입자 슬러리와 콜로이달 실리카 슬러리에 다이아몬드 입자를 분산시킨 혼합 입자 슬러리를 사용하였다. 슬러리의 화학 베이스 (chemical base)는 6H-SiC CMP시 Si면에 산화층 (SiO₂)을 형성시키는 KOH로 고정하였다[5].

CMP 공정 후 웨이퍼의 연마율은 공정 전·후의 무게 감소량 (VOYAGER, OHAUS Co., 0.0mg)으로 평가하였고, 표면거칠기와 표면 형상은 AFM (XE-150, Park System Co.)으로 가로·세로 10µm 범위로 측정하여 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1 과 Fig. 2 는 각각 진행되는 공정별의 연마율, 즉 무게 감소량과 표면거칠기를 나타낸 것이다. 우선 콜로이달 실리카 입자만이 포함된 단일 입자 슬러리로 CMP 공정을 진행하였는데 CS_1 공정의 연마율은 이후의 연마율에 비해 매우 높은 결과를 얻었다. CMP 전의 표면 위에는 MP 공정 후의 부산물이 잔재하게 되는데 이것이 제거됨으로써

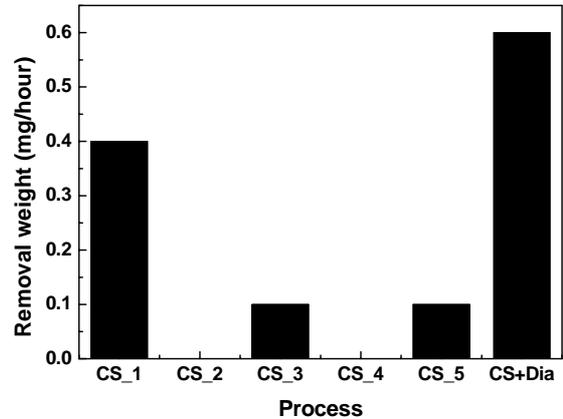


Fig. 1 Removal weight evolution during CMP

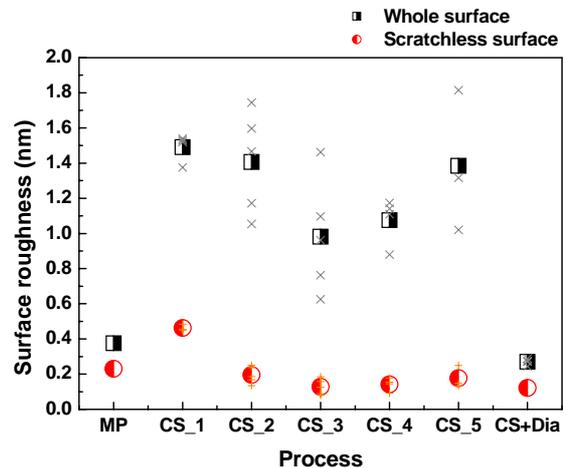


Fig. 2 Surface roughness evolution during CMP

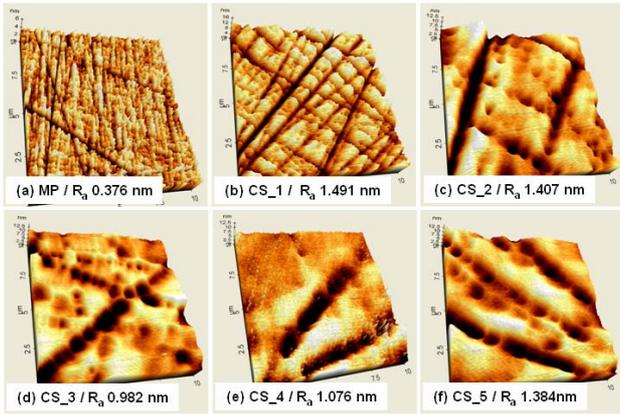


Fig. 3 AFM images; (a) after MP, and (b) ~ (f) after CMP 1~5 run using KOH based colloidal silica slurry

큰 무게 변화가 발생된다. CS_2 부터 CS_5 공정까지는 0.05mg으로 일정한 무게 감소를 보였다. 표면거칠기는 10µm×10µm 전면에 대한 값과 스크래치가 없는 영역의 값으로 나타내었다. 두 가지의 표면거칠기 값은 CS_3 공정까지 낮아지다가 공정이 진행되면서 점점 높아지는 것을 볼 수 있다. 표면거칠기는 Fig. 3의 표면 형상 변화에 대한 분석으로 설명 할 수 있다.

MP 공정을 마친 6H-SiC 표면의 표면거칠기는 0.376nm로써 낮은 값을 가지지만 많은 스크래치가 존재한다. CS_1 공정을 거치면서 슬러리에 의하여 MP 공정의 부산물들이 제거되고 화학적 에칭 (etching)이 되면서 많은 스크래치가 표면에 나타나고 표면거칠기 값은 크게 상승하게 된다. 그 후로부터는 스크래치가 완전히 제거되지는 않지만, 폭이 좁고 깊었던 스크래치가 슬러리의 영향으로 인하여 점점 폭이 넓어지고 얕아지게 된다. 이 현상은 스크래치나 마이크로 파이프와 같은 결함이 있는 영역이 화학적·기계적으로 약하기 때문에 발생하는 것으로 판단된다. CS_3 공정부터는 표면거칠기 값이 상승하는 경향을 띄게 되는데 이것은 실리카 입자가 SiC보다 상대적으로 매우 무르기 때문에 기계적으로 제거가 이루어지지 않기 때문이다. 이러한 문제를 해결함과 동시에 스크래치와 같은 결함도 발생시키지 않게 하기 위하여 나노 크기의 다이아몬드 입자를 혼합한 슬러리를 사용하였다.

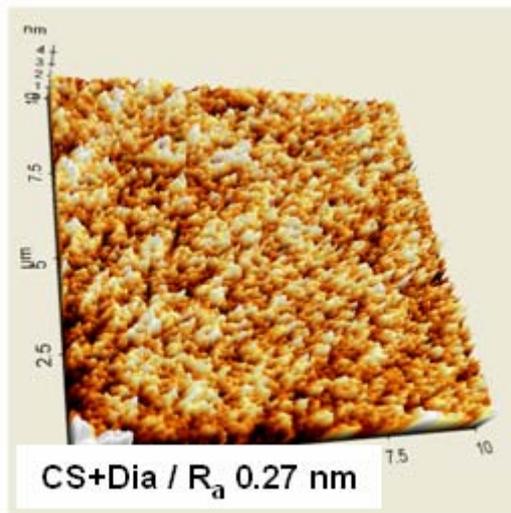


Fig. 4 AFM image after CMP using KOH based colloidal silica and nano-sized diamond abrasive slurry

Fig. 4는 실리카 입자와 다이아몬드 입자를 혼합한 슬러리를 사용한 CMP 후의 표면 형상이다. 실리카 입자가 가지는 한계를 나노 크기의 다이아몬드 입자가 보완함으로써

상대적으로 높은 연마율을 보이고 (Fig. 1) 표면거칠기 역시 크게 낮아진 것을 (Fig. 2) 확인 할 수 있다. 이와 같은 결과는 혼합 슬러리의 실리카 입자, 다이아몬드 입자 그리고 화학 베이스인 KOH가 각각 다음의 역할을 함으로써 나타나는 현상으로 판단된다.

우선 6H-SiC 표면에 KOH에 의하여 화학적 반응층이 생성되고[5] 실리카 입자가 기계적으로 연마를 하면서 표면 거칠기가 향상된다. 다이아몬드 입자는 실리카 입자가 제거하지 못하는 결함들을 제거하는 역할을 한다. 연마 참여 입자 수가 증가함에 따라 연마율이 증가하고[6] 연마에 의해 발생하는 열 또한 증가하여 KOH의 화학 반응성이 증가한다[7]. 화학 반응성이 증가함과 동시에 두 입자의 연마 효율은 높아지고, 이러한 패턴으로 세가지 인자가 복합적으로 시너지 효과를 일으킴으로써 표면의 결함 제거와 질적 향상이 이루어지게 된다.

4. 결론

6H-SiC CMP에서 무결함의 경면을 얻기 위한 중요한 인자는 슬러리이다. 콜로이드 실리카 입자만으로는 6H-SiC의 표면 결함을 제거하는데 한계가 있기 때문에 나노 크기의 다이아몬드 입자를 혼합하여 사용하였다. 연마율과 표면거칠기를 측정하여 비교한 결과, 실리카와 다이아몬드 입자를 혼합한 슬러리를 사용한 경우 높은 연마율과 낮은 표면 거칠기 값을 얻을 수 있었다.

이러한 결과를 통하여 혼합 슬러리를 사용했을 때 6H-SiC CMP의 매카니즘은 슬러리의 화학 베이스인 KOH가 표면에 화학 반응층을 형성시키고 다이아몬드 입자는 실리카 입자가 제거하지 못하는 결함과 같은 영역을 제거하고 그 외 영역은 실리카 입자가 제거·연마함으로써 표면의 결함 제거 및 질적 향상이 이루어진다고 판단된다.

후 기

본 연구는 과학기술부/한국과학재단 국가핵심연구센터 사업(R15-2006-022-01003-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Morkos, H., Strite, S., and Gao, G. B., "Large-band-gap SiC, III-V nitride, and II-VI ZnSe-based semiconductor device technologies," *J. Appl. Phys.*, **76**, 1363-1398, 1994.
2. Neslen, C. L., Mitchel, W. C., and Hengehold, R. L., "Effects of process parameters variations on the removal rate in chemical mechanical polishing of 4H-SiC," *J. Electron. Mater.*, **30**, 1271, 2001.
3. Zhou, L., Audurier, V., Pirouz, P., and Powell, J. A., "Chemomechanical Polishing of Silicon-Carbide," *Electrochem. Soc.*, **144**, 161, 1994.
4. Martin, C., Kerr, T. M., Stepko, W., and Anderson, T., "Sub-Surface Damage Removal in Fabrication & Polishing of Silicon Carbide," *Compound semiconductor manufacturing technology*, 291-294, 2004.
5. Lee, H. J., Park, B. Y., Lee, H. S., Jeong, S. H., and Jeong, H. D., "The Effect of Mixed Abrasive Slurry on CMP of 6H-SiC Substrate," *Materials Science Forum*, **569**, 133-136, 2008.
6. 정영석, 김형재, 최재영, 정해도, "슬러리 온도 및 유량에 따른 CMP 연마특성," *한국정밀공학회지*, **21**, 46-52, 2004.
7. Liu, Y., Zhang, K., Wang, F., and Di, W., "Investigation on the final polishing slurry and technique of silicon substrate in ULSI," *Microelectronic Engineering*, **66**, 438-444, 2003.