

## 다결정 3C-SiC 박막의 마그네트론 RIE 식각 특성

은창민, 정귀상

울산대학교 전기전자정보시스템공학부

### 초 록

The magnetron reactive ion etching (RIE) characteristics of polycrystalline (poly) 3C-SiC grown on SiO<sub>2</sub>/Si substrate by APCVD were investigated. Poly 3C-SiC was etched by CHF<sub>3</sub> gas, which can form a polymer as a function of side wall protective layers, with additive O<sub>2</sub> and Ar gases. Especially, it was performed in magnetron RIE, which can etch SiC at lower ion energy than a commercial RIE system. Stable etching was achieved at 70 W and the poly 3C-SiC was undamaged. The etch rate could be controlled from 20 Å/min to 400 Å/min by the manipulation of gas flow rates, chamber pressure, RF power, and electrode gap. The best vertical structure was improved by the addition of 40 % O<sub>2</sub> and 16 % Ar with the CHF<sub>3</sub> reactive gas. Therefore, poly 3C-SiC etched by magnetron RIE can expect to be applied to M/NEMS applications

### 1. 서 론

SiC (silicon carbide)는 Si에 비해 밴드갭이 2~3배 이상 높고 열전도도가 3배 정도 뛰어나 높은 한계 온도를 가지며 화학적으로 안정하고 내부식성, 내방사성, 내산화성 그리고 내마모성이 매우 양호하기 때문에 극한 환경에서도 사용 가능하다[1]. 또한, Si 보다 우수한 생체적합성 및 높은 공진 주파수(600 MHz) 때문에 차세대 RF와 Bio용 M/NEMS (micro/nano electro mechanical systems)로 크게 주목을 받고 있다[2].

SiC 중에서도 육방형 결정 구조를 갖고 벌크로 성장된 4H- 혹은 6H-SiC는 비교적 성장이 쉽지만, 고가격화로 인해 대량생산이 어렵다. 또한, 화학적으로 결합력이 강하여 Mohs지수가 약 9정도로 다이아몬드에 버금가는 견고함을 지니고 있어 고온, 고압 등 극한 환경에 장점이 되고 있지만, 마이크로머시닝을 위한 미세가공기술이 어렵다[3]. 그러나 Si 기판위에 이중 결정 성장된 β- 혹은 3C-SiC는 저가격으로 대면적 성장이 가능하며 미세구조물 제작이 용이할 뿐만 아니라, 400°C 이상의 초고온용 MEMS 분야에 활용 가능하다[4].

특히, Si 기판위에 1300°C 이상의 고온에서 이중 결정 성장된 단결정 3C-SiC는 Si과 SiC 경계면에서 8%의 열팽창 계수와 20%의 격자 부정합 등으로 발생한 큰 잔류응력과 고온에서의 계면 누설전류 때문에 제조된 부품의 성능을 떨어뜨린다[5]. 따라서, 이와 같은 문제점들을 해결하기 위해 최근에는 산화막 혹은 질화막 위에 저온에서 성장 가능한 다결정 3C-SiC가 떠오르고 있다. 이 재료는 표면/벌크 마이크로머시닝 기술을 쉽게 적용할 수 있기 때문에 SiC-MEMS의 연구가 활발히 진행 중이다[6]. 그러므로 물리적, 화학적으로 안정하고 광대역 반도체인 다결정 3C-SiC를 차세대 산업분야에 적용하기 위해서는 무엇보다도 미세가공기술 연구가 선행되어야 한다.

전식 식각 중에서도 ICP/TCP (inductively/ transformer coupled plasma), ECR (electron cyclotron resonance)은 식각 속도는 빠르지만 고가의 장비이며, RIE (reactive ion etching)는 CF<sub>4</sub>와 SF<sub>6</sub>를 O<sub>2</sub>와의 혼합가스를 통하여 이미 연구가 되고 있다. 그러나, 이들 가스는 반응 생성물이 시료에 부착됨에 따라 식각 후 표면이 거칠어지는 문제점이 보고되고 있다[7]. 또한, 높은 이온 에너지는 이온 충돌로 인해 기판에 손상을 줄 뿐만 아니라 낮은 식각 선택비 갖는다. 따라서, 본 연구에서는 저

가격화로 기존의 RIE보다 적은 에너지에서 기판에 손상 없이 식각이 가능한 RF 마그네트론 RIE를 이용했다. 또한, 측벽 보호막의 형성으로 인해 수직적 식각이 가능한 CHF<sub>3</sub>와 O<sub>2</sub>, Ar을 혼합 반응 가스로 다결정 3C-SiC의 미세가공 특성을 분석 및 평가하였다.

### 2. 실험 방법

본 연구에서는 APCVD 법으로 단일 전구체인 HMDS (Si<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)<sub>6</sub>) 2 sccm, Ar 10 slm, H<sub>2</sub> 100 sccm의 가스를 각각 주입하여 SiO<sub>2</sub>/Si 박막 위에 다결정 3C-SiC를 약 5000Å 성장하였다[8]. 실험에 앞서 다결정 3C-SiC의 시료 표면에 존재하는 자연 산화막을 희석된 HF 용액에 제거하고, 유기물과 먼지를 제거하기 위하여 아세톤과 DI water를 통해 각각 5분 동안 초음파 세척 후 N<sub>2</sub> 가스로 건조시켰다. 식각 마스크로 PR (photoresist)를 쓰는 경우도 있지만, 산소를 첨가로 인해 ash 현상으로 금방 제거되어 버려 장시간 식각에는 적합하지 않다. F (fluorine)는 Si 계열에 잘 식각되며 Cl (chlorine)은 Ga, Al, As 포함한 3,5족 원소들을 식각되는 것으로 알려져 있다. 그러므로 본 실험에서는 SiC와 10 정도로 선택비가 높고 CHF<sub>3</sub>가스에 식각이 잘 되지 않는 Al 마스크와 PR을 동시에 마스크로 사용하였다. 먼저 SiC 기판위에 RF 마그네트론 sputtering 이용하여 Al을 약 5000Å로 성장하고, 그 위에 negative PR로 패턴을 형성하여 Hard baking으로 PR을 굳혔다. 이 때 Al의 원하는 패턴만 남겨 놓기 위해 Al etchant을 사용하여 습식 식각을 수행하였다.

마그네트론 RIE는 13.56 MHz의 RF 고주파에서 평행 전극간에 강한 전기장이 발생하고 이온들이 하부전극으로 가속된다. 이 때, 마그네트론이 적용된 자기장을 더 추가함으로써 plasma 밀도를 더욱 높였다. 그러므로 본 연구에서는 고분자인 polymer 막을 발생하는 CHF<sub>3</sub> 가스를 이용하여 조건에 따른 다결정 3C-SiC의 식각에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위해 SEM (scanning electron microscope), AFM (atomic force microscope)과 a-step으로 식각 속도, 평탄도, 선택비 등을 최종적으로 알아보았다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 O<sub>2</sub> 가스 유량과 RF power 조건에 따른 다결정 3C-SiC의 식각을 변화를 나타낸 것이다. CHF<sub>3</sub> 가스 (30 sccm)만 주입하였을 경우, 식각율이 약 130Å/min 으로 매우 낮았으나, O<sub>2</sub> 유량이 증가할수록 F radical이 다량으로 생성되기 때문에 식각율이 증가했다. 그러나 O<sub>2</sub>가 포화되면 F radical과 O<sub>2</sub>가 반응해서 SiO<sub>x</sub>F<sub>y</sub>이 되어 이것이 시료표면에 퇴적되면서 식각 속도가 낮아진다. O<sub>2</sub> 70% 이상에서는 표면에 생성물이 다량 존재하여 식각율이 크게 감소하였다. O<sub>2</sub> 40%에서는 SiO<sub>x</sub>F<sub>y</sub>가 측벽에 부착되어 undercut가 발생하지 않고, 수직적인 식각됨을 확인하였다.

일반적으로 RF power 역시 증가할수록 식각율은 증가한다. RF power가 증가하면 ion 에너지가 커지고, 이 때문에 표면 층에서의 반응이 활발하게 되어 식각 속도가 증가되기 때문이다. 그러나 이온 에너지가 너무 크게 되면 시료 표면에 손상이 생겨 비수직적 식각 특성이 나타나거나, 이온이 시료에

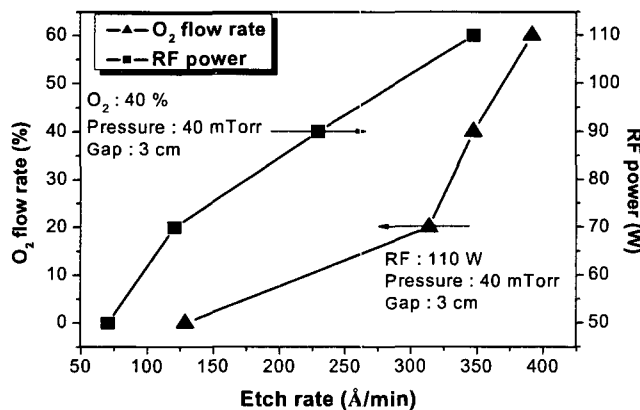


Fig. 1. Etch rates variations of poly 3C-SiC as functions of O<sub>2</sub> flow rate and RF power.

확산하는 현상이 일어날 가능성이 커진다. 발표된 논문에서는 200 W에 약 300 Å/min의 식각 속도를 보였지만[3], 그림 1에서와 같이 110 W의 비교적 낮은 에너지에서 약 345 Å/min의 높은 식각율이 나타났다.

그림 2는 O<sub>2</sub> 가스 주입량과 RF power에 따라 식각된 다결정 3C-SiC 박막의 표면 평탄도 변화를 나타낸 것이다. 식각 전 다결정 3C-SiC의 RMS는 13.09 nm이었다. CHF<sub>3</sub> 가스만 주입했을 경우, 화학적 cleaning 작용으로 RMS 값이 11.78 nm로 식각 전보다 감소했다. 그러나, O<sub>2</sub> 양이 증가할수록 F radical이 증가하여 식각 속도는 증가하고 거칠기 또한 증가하였다. 반면에 O<sub>2</sub> 60 %에서는 표면 전체에 퇴적물이 발생하여 RMS가 다시 감소하였다. 또한, RF power가 낮을수록 식각된 3C-SiC 박막 표면의 RMS 값은 감소했다.

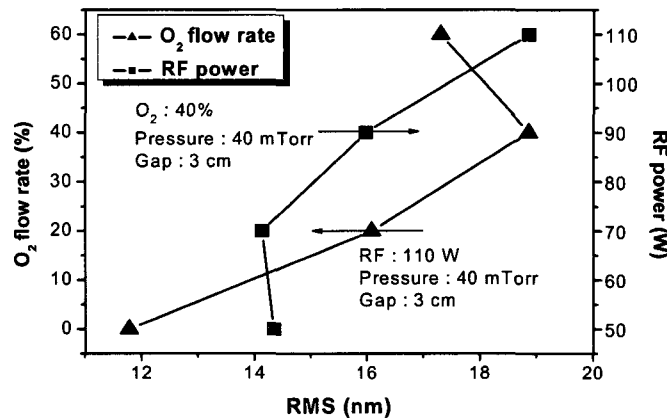


Fig. 2. RMS variations of poly 3C-SiC thin films according to O<sub>2</sub> flow rate and RF power

그림 3은 식각 전후 다결정 3C-SiC 박막의 표면 AFM 이미지들이다. 그림 3(a)는 다결정 3C-SiC의 식각 전이고 그림 3(b)는 70 W에서 식각했을 경우의 표면 AFM 이미지이다. 특히, 70 W 이하부터는 식각 속도는 느리지만 식각된 다결정 3C-SiC의 표면에 손상이 거의 발생하지 않아 M/NEMS 구조물을 제작하기에 적절할 것으로 사료된다.

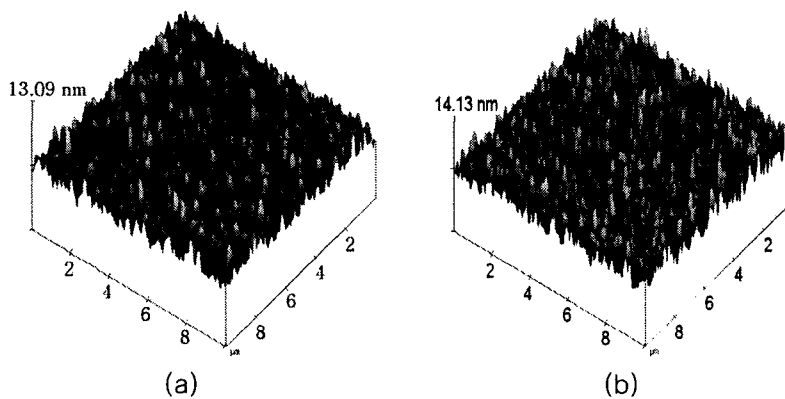


Fig. 3. AFM images (a) before etching and (b) 70 W and after etching of poly 3C-SiC thin films

그림 4는 최적인 비율인 CHF<sub>3</sub> : O<sub>2</sub> (3 : 2)에 Ar 첨가량 (0~50 %)에 따라 식각된 다결정 3C-SiC 박막의 SEM 사진들이다. 그림 4(a)는 CHF<sub>3</sub>와 O<sub>2</sub> 가스로만 식각했을 경우, 수직적인 식각이 가능했지만 식각된 단면에 거칠음을 확인할 수 있다. 그러나, 그림 4(b)에서 알 수 있듯이 Ar 5 sccm (16 %)를 추가함으로써 가장 이상적인 이방성 식각을 나타냈다. 이 때 평균 식각 속도는 약 330 Å/min 이다. 반면에 Ar 양이 높을수록 표면에 이온 충돌 계수가 증가하여 식각된 표면에 손상을 줄 뿐만 아니라 마스크까지 제거되어 마스크 역할을 할 수 없게 된다.

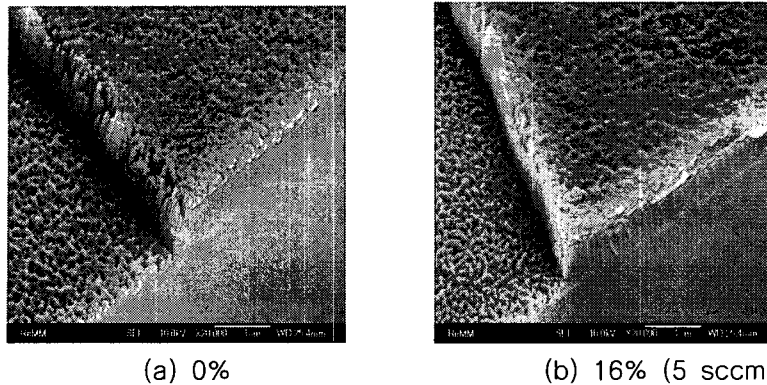


Fig. 4. SEM images of poly 3C-SiC etch profiles according to (a) 0, (b) 16% Ar gas under the best conditions ( $\text{CHF}_3 : \text{O}_2 = 3 : 2$ ).

#### 4. 결론

본 연구는 마그네트론 RIE로 이용한 다결정 3C-SiC의 식각 특성에 관한 것이다.  $\text{O}_2$  가스 유량, RF power, 챔브 압력, 그리고 전극 간격에 따른 식각율과 RMS를 측정 결과,  $\text{O}_2$  가스 유량 40 %에서는 undercut의 형성 없이 수직적인 식각을 할 수 있었다. 더구나, RF power 110 W에서는 성장 전보다 미세한 거칠기가 존재하지만, 70 W에서는 기판에 손상 없이 M/NEMS 구조물을 제작이 가능하였다. 압력 20 mTorr에서 가장 빠른 400 Å/min의 식각율을 보였다. 또한, 전극 간격 5 cm에서 식각 속도는 떨어지지만,  $\text{CHF}_3$  특유의 고분자인 폴리머가 측벽에 형성되어 수직적인 식각이 가능했다. 이러한 최적의 조건에서 Ar을 약 16 %를 첨가했을 때, 가장 이상적인 식각을 얻을 수 있었다. 따라서, 식각된 다결정 3C-SiC는 표면/벌크 마이크로머시닝뿐만 아니라 차세대 RF, bio용 M/NEMS에서도 쉽게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

“이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임”(KRF-2006- D00177).

#### 참고문헌

- [1] P. M. Sarro, "Silicon carbide as a new MEMS technology", *Sensors & Actuators A*, vol. 82, pp. 210-218, 2000.
- [2] C. A. Zorman and M. Mehregany, "Silicon carbide for MEMS and NEMS - an overview", *Proceedings of the IEEE*, vol. 2, pp. 1109-1114, 2002.
- [3] G. S. Chung, S. Y. Chung, and S. Nishino, "Reactive ion etching characteristics of 3C-SiC grown on Si wafers", *J. of KIMMEE(in Korean)*, vol. 17, no. 7, pp. 724-728, 2004.
- [4] G. S. Chung and C. M. Ohn, "Ohmic contact characteristics of polycrystalline 3C-SiC for high-temperature MEMS applications", *J. of the Korean Sensors Society*, vol. 15, no. 6, pp. 386-390, 2006.
- [5] M. Mehregany and C. A. Zorman, "SiC MEMS: opportunities and challenges for applications in harsh environments", *Thin Solid Films*, vol. 355-356, pp. 518-524, 1999.
- [6] S. Roy, C. Zorman, M. Mehregany, R. Deanna, and C. Deeb, "The mechanical properties of polycrystalline 3C-SiC films grown on polysilicon substrates by atmospheric pressure chemical-vapor deposition", *J. Appl. Phys.* vol. 99, pp. 44108, 2006.
- [7] P. H. Yih and A. J. Steckl, "Residue-free reactive ion etching of silicon carbide in fluorinated plasmas", *J. Electrochem. Soc.*, vol. 142, no. 8, pp. 312-319, 1995.

- [8] G. S. Chung, K. S. Kim, and J. H. Jeong, "Growth of polycrystalline 3C-SiC thin films for M/NEMS applications by CVD", J. of the Korean Sensors Society, vol. 16, no. 2, pp. 85-90, 2007.