

마그네트론 RIE를 이용한 다결정 3C-SiC의 식각 특성

온창민, 김귀열, 정귀상
울산대학교

Etching Characteristics of Polycrystalline 3C-SiC Thin Films by Magnetron Reactive Ion Etching

Chang-Min Ohn, Gwi-Yeal Kim, Gwi-Sang Chung
Univ. of Ulsan

Abstract : Surface micromachined SiC devices have readily been fabricated from the polycrystalline (poly) 3C-SiC thin film which has an advantage of being deposited onto SiO₂ or Si₃N₄ as a sacrificial layer. Therefore, in this work, magnetron reactive ion etching process which can stably etch poly 3C-SiC thin films grown on SiO₂/Si substrate at a lower energy (70 W) with CHF₃ based gas mixtures has been studied. We have investigated the etching properties of the poly 3C-SiC thin film using PR/Al mask, according to O₂ flow rate, pressure, RF power, and electrode gap. The etched RMS (root mean square), etch rate, and etch profile of the poly 3C-SiC thin films were analyzed by SEM, AFM, and α -step.

Key Words : Polycrystalline 3C-SiC, RIE (reactive ion etching), CHF₃, Surface micromachining, M/NEMS

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, 내방사성이 매우 양호하기 때문에 극한 환경에서도 사용가능하다. 또한, 실리콘 보다 우수한 공진 주파수 (600 MHz)와 생체에 적합성 때문에 차세대 RF와 Bio용 M/NEMS로서 크게 주목을 받고 있다^[1]. SiC 중에서도 벌크로 성장된 4H- 혹은 6H-SiC는 화학적으로 결합력이 강하여 Mohs' 지수가 약 9정도로 다이아몬드에 버금가는 견고함을 지니고 있어 고온, 고압 등 극한 환경에 장점이 되고 있지만, 마이크로머시닝을 위한 미세가공기술이 어렵다^[2].

최근에는 산화막 혹은 질화막 위에 저온에서 성장 가능하고 미세구조를 제작이 용이한 다결정 3C-SiC가 떠오르고 있다. 이 재료는 400 GPa 이상의 우수한 Young's module 갖고, 표면/벌크 마이크로머시닝 기술을 쉽게 적용할 수 있기 때문에 SiC-M/NEMS용으로써 연구가 활발히 진행중이다^[3]. 그러므로 물리적, 화학적으로 안정하고 광대역 반도체인 다결정 3C-SiC를 차세대 산업분야에 적용하기 위해서는 무엇보다도 미세가공기술 연구가 선행되어야 한다.

건식식각기술 중에서 ICP/TCP, ECR은 식각 속도는 빠르지만 고가의 장비이다. RIE (reactive ion etching)는 CF₄와 SF₆를 O₂와의 혼합가스를 통하여 이미 연구가 되고 있다. 그러나, 이들 가스는 반응 생성물이 시료에 부착됨에 따라 식각 후 표면이 거칠어지는 문제점이 보고되고 있다^[4]. 또한, 높은 이온 에너지는 이온 충돌로 인해 기판에 손상을 줄뿐만 아니라 낮은 식각 선택비 갖는다. 따라서 본 연구에서는 저가격하로 기존의 RIE 보다 적은 에너지에서 기판에 손상 없이 식각이 가능한 RF 마그네트론 RIE를 이용했다. 그리고 측벽 보호막의 형성으로 인해 수직적 식각이 가능한 CHF₃와 O₂, Ar을 혼합 반응 가스로 다결정 3C-SiC의 미세가공기술을 연구한다.

2. 실험

본 연구에서는 APCVD 법으로 단일 전구체인 HMDS (Si₂(CH₃)₆) 가스를 이용하여 SiO₂/Si 박막 위에 다결정 3C-SiC를 약 5000 Å 성장하였다^[5]. 식각 마스크로는 SiC와 10 정도의 선택비를 가지는 Al과 PR을 함께 사용하였다. 먼저 SiC 기판위에 RF 마그네트론 sputtering 이용하여 Al을 약 5000 Å로 성장하고, 그 위에 negative PR로 패턴을 형성하여 hard baking으로 PR을 굳혔다. 이 때, Al의 원하는 패턴만 남겨 놓기 위해 Al etchant를 사용하여 습식 식각을 수행하였다.

본 연구에서 사용한 마그네트론 RIE는 RF 고주파에서 평행 전극간에 강한 전기장이 발생하고 이온들이 하부전극으로 가속된다. 이 때, 자석이 적용된 자장을 더 추가함으로써 plasma 밀도를 높였다. 고분자인 폴리머 막을 형성하는 CHF₃와 Ar, O₂ 가스를 이용하여 가스 유량, RF power, 챔버 압력, 전극간격에 따른 다결정 3C-SiC의 식각 변화를 SEM (scanning electron microscope), AFM (atomic force microscope), α -step으로 식각특성을 최종적으로 조사했다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 O₂ 가스 유량과 RF power 조건에 따른 다결정 3C-SiC의 식각을 변화를 나타낸다. CHF₃ 가스 (30 sccm)만 주입하였을 경우, 식각율이 약 130 Å/min 으로 매우 저조하였으나, O₂ 유량이 증가할수록 F radical이 다량으로 생성되기 때문에 식각 속도가 증가한다. O₂ 40%에서 약 345 Å/min의 식각 속도로 SiO_xF_y가 측벽에 부착되어 undercut가 발생하지 않고, 수직적인 식각을 할 수 있었다.

RF power 역시 증가할수록 식각율은 증가한다. power가 증가하면 ion 에너지가 커지고, 이 때문에 표면층에서의 반응이 활발하게 되어 식각 속도가 증가한다. 그러나 이온 에너지가 너무 크게 되면 시료 표면에 손상이 생겨 비수직적 식각 특성이 나타나거나, 이온이 시료에 확산하는 현상이 일어날 가능성이 커진다. 이전 논문에서는 200 W에 약 300 Å/min의 식각 속도를 보였지만,^[2] 그림 2에서와 같이 110 W의 비교적 낮은 에너지에서 약 345 Å/min의 높은 식각율이 나타났다.

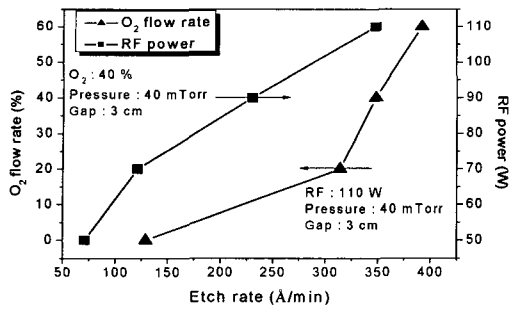


그림 1. O₂ 가스 유량과 RF power 조건에 따른 다결정 3C-SiC의 식각을 변화.

식각 전 다결정 3C-SiC의 RMS는 13.09 nm 이었다. RF power는 낮을수록 RMS의 값은 감소했다. 그림 2(a)는 다결정 3C-SiC의 식각 전이고 (b) 70 W의 식각 후의 AFM 이미지이다. 특히, 70 W 이하부터는 식각 속도는 느리지만 식각된 다결정 3C-SiC의 표면에 손상이 거의 발생하지 않아 M/NEMS 구조물을 제작하기에 적절하다.

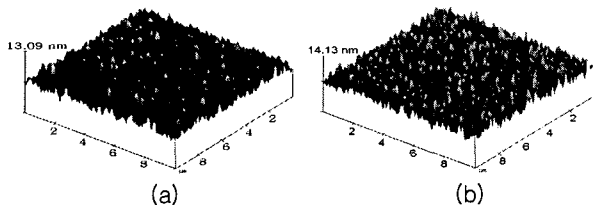


그림 2. 다결정 3C-SiC의 (a) 식각 전, (b) 70 W 식각 후 AFM 이미지.

그림 3은 최적의 비율인 CHF₃ : O₂ (3 : 2)에 Ar 첨가량 (0 ~ 50%)에 따른 다결정 3C-SiC를 식각했다. 그림 3(a)에서 CHF₃와 O₂ 가스만으로 식각했을 경우, 수직적인 식각이 가능했지만, 식각된 단면에 거칠음을 확인할 수 있다. 그림 3(b)에서 Ar 5 sccm (16%)를 추가함으로써 가장 이상적인 이방성 식각을 나타냈다. 이 때 평균 식각 속도는 약 330 Å/min 이다. 그러나 Ar 양이 높을수록 표면에 이온 충돌 계수가 증가하여 식각된 표면에 손상을 줄 뿐만 아니라 마스크까지 제거되어 마스크 역할을 할 수 없게 된다.

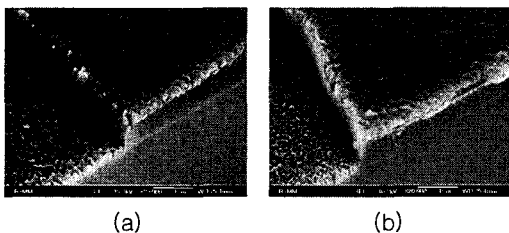


그림 3. 최적의 비율 (CHF₃ : O₂ = 3 : 2) 조건에서 Ar 가스 (a) 0%, (b) 16% 에 따른 식각된 다결정 3C-SiC의 SEM 이미지.

그림 4(a)은 최적의 조건에서 식각된 3C-SiC의 구조물 사진이다. 다결정 3C-SiC는 최소 선포 4 μm 까지 식각할 수 있었다. 그림 4(b)는 SEM으로 한 부분을 확대한 사진이다. 그림

4(c)는 SiO₂ (9000Å)/Si 기판 위에 성장된 다결정 3C-SiC의 캔틸레버 구조를 나타낸 SEM 사진이다. 캔틸레버는 선포 30 μm 이고 160, 180, 200 μm의 길이를 갖고, 그 두께는 약 0.5 μm 이다. 박막의 두께가 얇아 스트레스의 원인으로 위쪽으로 많이 휨을 알 수 있다. 그림 4(d)는 3C-SiC의 1.5 μm 두께를 가진다. 막 두께가 두꺼울수록 스트레스를 영향을 덜 받아 캔틸레버가 휘지 않음을 알 수 있다.

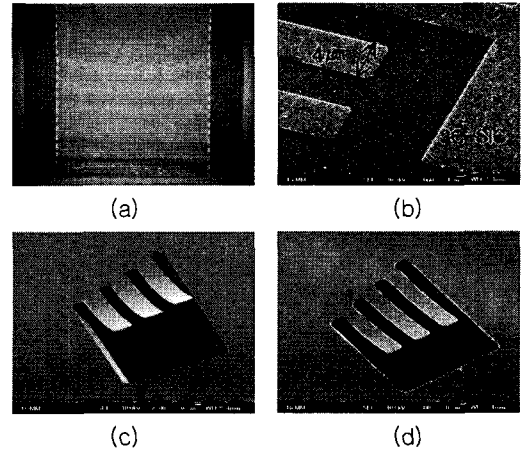


그림 4. 식각된 다결정 3C-SiC의 (a) 마이크로 패턴 (SiC 선포 4 μm), (b) 마이크로 패턴 확대한 SEM 이미지, (c) SiC 0.5 μm 두께의 캔틸레버, (d) SiC 1.5 μm 두께의 캔틸레버 SEM 이미지.

4. 결론

마그네트론 RIE로 이용한 다결정 3C-SiC의 식각 특성을 연구했다. O₂ 가스 유량, RF power, 챔버 압력, 전극 간격에 따른 식각율과 RMS의 결과, O₂ 가스 유량 40%에서는 undercut의 형성 없이 수직적인 식각을 할 수 있었고, RF power 70 W에서는 기판에 손상 없이 M/NEMS 구조물을 제작이 가능하다. 이러한 최적의 조건에서 Ar을 약 16 %를 첨가했을 때, 가장 이상적인 식각을 얻을 수 있었다.

그러므로 식각된 다결정 3C-SiC는 표면/벌크 마이크로머시닝 뿐만 아니라 차세대 RF, Bio용 M/NEMS에서도 쉽게 적용 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 산업자원의 지역혁신인력양성사업으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] C. A. Zorman and M. Mehregany, Proc. of the IEEE, Vol. 2, p. 1109, 2002
- [2] G. S. Chung, S. Y. Chung, and S. Nishino, J. of KIMMEE(in Korean), Vol. 17, No. 7, p. 724, 2004.
- [3] S. Roy, C. Zorman, M. Mehregany, R. Deanna, and C. Deeb, J. Appl. Phys. Vol. 99, p. 44108, 2006.
- [4] P. H. Yih and A. J. Steckl, J. Electrochem. Soc., Vol. 142, No. 8, p. 312, 1995.
- [5] G. S. Chung, K. S. Kim, and K. B. Han, J. of KIMMEE(in Korean), Vol. 20, No. 2, p. 156, 2006.