

Si(100)기판위에 성장된 3C-SiC 박막의 반응성 이온식각 특성

Reactive Ion Etching Characteristics of 3C-SiC Grown on Si Wafers

정귀상^{1,a}, 정수용¹, Shigehiro Nishino²
(Gwiy-Sang Chung^{1,a}, Soo-Yong Chung¹, and Shigehiro Nishino²)

Abstract

This paper describes on RIE(Reactive Ion Etching) characteristics of 3C-SiC(Silicon Carbide) grown on Si(100) wafers. In this work, CHF_3 gas was used to form the polymer as a function of a side-wall for excellent anisotropy etching during the RIE process. The ranges of the etch rate were obtained from 60 Å/min to 980 Å/min according to the conditions such as working gas pressure, RF power, distance between electrodes and the O_2 addition ratio in working gas pressure. Under the condition such as 100 mTorr of working gas pressure, 200 W of RF power and 30 mm of the distance between electrodes, mesa structures with about 40° of the etch angle were formed, and the vertical structures could be improved with 50 % of O_2 addition ratio in reactive gas during the RIE process. As a result of the investigation, we know that it is possible to apply the RIE process of 3C-SiC using CHF_3 for the development of electronic parts and MEMS applications in harsh environments.

Key Words : RIE, 3C-SiC, CHF_3 , O_2 , Etching-rate, Flatness

1. 서론

SiC(Silicon Carbide)는 고온 동작, 내방사성, 내부식성, 고내전압, 고신뢰성, 고전력 특성뿐만 아니라 기계적 특성이 우수하기 때문에 고압, 고주파, 고온용 차세대 반도체로 크게 주목을 받고 있다 [1-3]. 특히, SiC는 Si에 비해서 큰 밴드갭, 높은 전계파괴 강도, 열전도율과 전자의 포화 드리프트 속도가 크고 Mohs'지수가 약 9정도로 다이아몬드 다음가는 견고성, 고압, 내부식성, 빠른 응답특성과 신뢰성 있는 정확한 측정 및 제어가 가능하기 때문에 극한 환경 MEMS (Micro Electro Mechanical System)로써 최근에 활발히 연구·개발되고 있다.

특히, SiC중에서도 입방형 결정구조(β - 혹은

3C-SiC)는 전자이동도가 $1000 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 로서 육방형 결정구조의 SiC (4H-SiC : $950 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$, 6H-SiC : $450 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)에 비하여 우수하며, Si 소자가공기술을 적용할 수 있어 고온, 고주파용 전자소자 및 MEMS 분야에 가장 적합하다. 따라서 이러한 우수한 특성을 갖는 3C-SiC를 이용한 전기, 전자, 정보통신 그리고 MEMS 개발을 위해 우선 3C-SiC 미세가공기술이 선행되어야 한다[4].

본 연구는 반응성 플라즈마 이온 식각 (RIE : Reactive Ion Etching) 기술을 이용한 3C-SiC의 미세가공에 관한 것이다. 지금까지는 CF_4 가스에 O_2 를 첨가한 SiC 미세가공기술에 관한 연구가 이루어지고 있다[5]. 최근에는 CF_4 보다 식각 속도를 증가시키기 위해서 SF_6 를 이용한 식각도 보고되고 있다[6]. 그러나, 이들 가스에서는 반응 생성물이 배기되지 않고 시료 표면에 부착됨으로 인하여 퇴적물이 발생하고 부식 후 표면이 거칠어지는 문제점을 가지고 있다[7]. 따라서, 본 연구에서는 식각 속도 제어가 가능하고, 수직한 이방성 식각이 가능한 CHF_3 가스를 이용하여 3C-SiC 박막의 미세가공기술을 연구하였다.

1. 동서대학교 정보시스템공학부 메카트로닉스공학전공
2. Kyoto Institute of Technology Electronics and Information Science

a. Corresponding Author : gschung@dongseo.ac.kr

접수일자 : 2004. 1. 14

1차 심사 : 2004. 3. 18

심사완료 : 2004. 5. 14

2. 실험

본 연구에서는 APCVD법으로 Si(100)기판위에 성장된 단결정 3C-SiC를 10 mm×10 mm 크기로 사용하였다. RIE 식각시 포토레지스터에 비하여 식각 내성이 좋은 Al을 마스크로 사용하여 3C-SiC 박막 위에 약 1,000~5,000 Å을 진공 증착한 후 [8], photolithography 공정 및 Lift-off 법을 이용하여 Al 마스크 패턴을 형성하였다.

본 연구에서는 먼저, 압력을 50~200 mTorr, RF power 50~300 W, O₂ 유량비를 0~70 % 그리고 전극간격 20~30 mm으로 변화시켰을 때 식각 속도 변화를 평가하였다. 전체 연구에서 gas 유량은 20 sccm 이었다. 식각 속도는 20분간 식각한 후, 표면 형상 측정 장치 (ULVAC, Dektak 3ST)를 사용해서 식각 깊이를 측정하여 식각 속도를 분석하였다. 또, 식각된 3C-SiC의 관찰은 SEM (JEOL: JSM 5200)과 Nomaralski 미분간섭 현미경 (Nikon: OPTIPHOT-2)으로 각각 분석했다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 RF power를 100 W와 200 W, 전극간격은 25 mm에서, 식각 속도의 가스 압력 의존성을 나타낸 것이다. 50 mTorr에서보다 압력이 올라갈수록 식각 속도도 증가한다. 그러나 100 mTorr에서 식각 속도는 최대가 되고, 그 이상으로 압력을 올리면 식각 속도가 감소한다. 이는 가스가 증가하면 압력이 증가하고, radical과 ion 량이 증가하기 때문에 식각 속도도 증가하기 때문이다. 그러나 압력을 계속 증가시키면 radical과 ion 량이 포화되어 재결합 확률이 높아져 radical이 감소한다. 이로 인해 압력이 100 mTorr 이상에서 식각 속도가 감소하였다. 더욱 압력을 높여 1000 mTorr에서 시험했을 경우, 식각 속도는 10 Å/min 이하까지 감소하였다. 따라서, 가스 압력 100 mTorr에서 가장 빠른 300 Å/min의 식각 속도를 얻을 수 있었다.

그림 2는 200 W의 RF power와 30 mm의 전극간격에서 식각했을 때, 가스 압력에 따른 3C-SiC의 식각 단면 SEM 이미지이다. 50 mTorr의 가스 압력에서 측벽 각도가 약 70°의 측벽이 형성되었다. 그러나 100 mTorr에서 마스크 아래 부분에 undercut이 생겼다. 더구나, 압력이 150 mTorr로 증가하면 측벽 부분만 식각 속도가 증가하고 식각 후 측벽에 요철이 발생한다. 따라서, 50 mTorr의 가스 압력의 식각 조건이 가장 좋은 측벽의 평탄도를 갖는 3C-SiC를 미세가공이다.

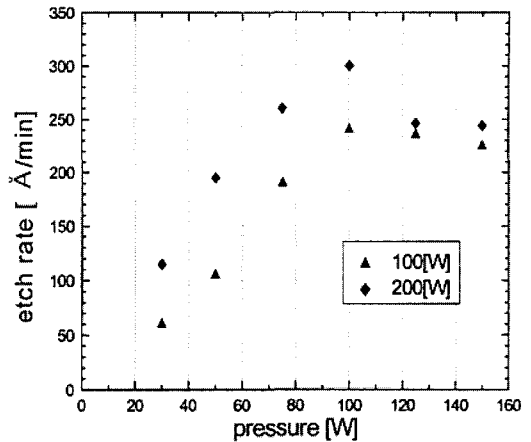


그림 1. 가스 압력에 따른 3C-SiC의 식각 속도 변화.
Fig. 1. Etch rates of 3C-SiC as a function of gas pressure.

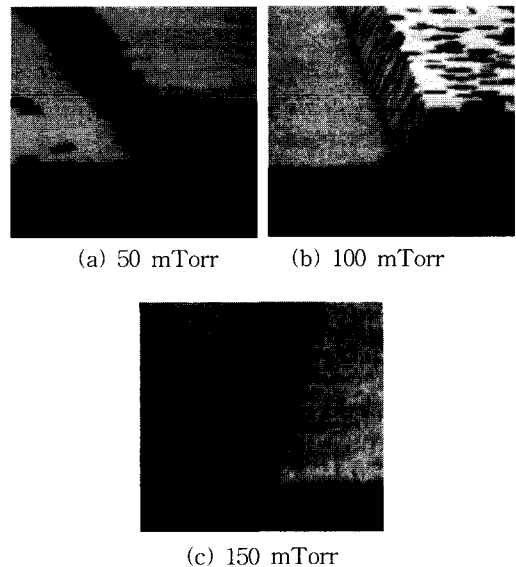


그림 2. 가스 압력에 따라 식각된 3C-SiC의 단면 SEM 이미지.
Fig. 2. Cross-sectional SEM images of etched 3C-SiC as a function of gas pressure.

그림 3은 압력 100 mTorr, 전극간격 30 mm에서, 식각 속도의 RF power 의존성을 나타낸 것이다. RF power가 증가할수록 식각 속도가 빨라지고, 200 W 이상의 power에서는 식각 속도가 포화되는 것을 알 수 있다. 이는, RF power가 증가하면 ion 에너지가

커지고, 이 때문에 반응 층에서의 반응이 활발하게 되어 식각 속도가 증가되기 때문이다. 그러나 ion 에너지가 크게 되면, 시료표면의 damage가 크게 되었거나 ion이 시료 중에 침입하는 등의 영향을 일으킬 가능성이 커진다.

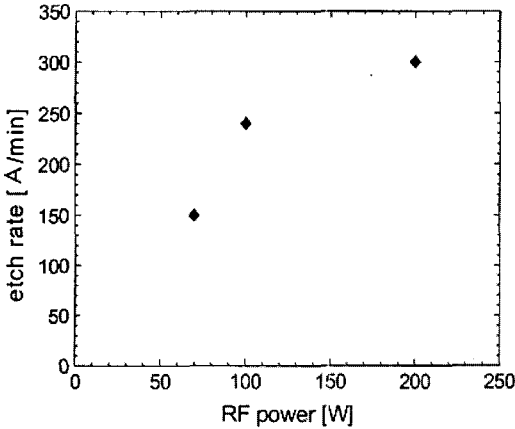
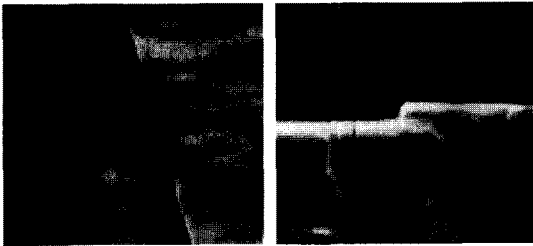
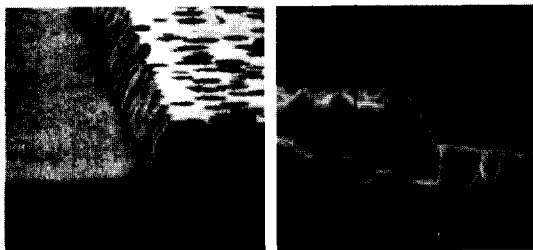


그림 3. RF power에 따른 3C-SiC의 식각속도 변화.
Fig. 3. Etch rates of 3C-SiC as a function of RF powers.



(a) 100 W



(b) 200 W

그림 4. RF power에 따라 식각된 3C-SiC의 단면 SEM 이미지.
Fig. 4. Cross-sectional SEM images of etched 3C-SiC at different RF powers.

그림 4는 RF power에 따른 식각된 3C-SiC의 측면 모양을 나타낸 SEM 이미지이다. 100 W일 경우는 거의 수직의 식각이 가능했지만, 200 W에서는 약 40° mesa 구조를 형성하였다. 본 실험에서는 RF power가 증가함에 따라 etch rate는 증가하지만 수직 식각 특성은 악화됨을 알 수 있다.

그림 5는 식각 속도의 O₂ 유량비 의존성을 나타낸 것이다. 이때 압력은 100 mTorr, RF power는 200 W 그리고 전극간격은 30 mm에서 식각했다. O₂ 유량비를 증가시키면 식각 속도가 증가한다. 그러나 O₂ 첨가량이 20 %를 초과할 경우는 오히려 식각 속도가 감소하였다. 이는 O₂ 유량비가 증가하면 F radical 다량 생산되고, 그 때문에 식각 속도가 증가된다. 그러나 O₂가 다량 존재하면, F radical과 O₂가 반응해서 SiO_xF_y가 되고 이것이 시료표면에 퇴적되어 식각 속도가 낮아진다. O₂ 유량비가 20 % 이상에서는, SiO_xF_y가 측벽에 부착되어 식각을 방해하기 때문에 undercut이 발생하지 않고, 수직성이 좋은 측벽을 얻을 수 있었다. 게다가 SiO_xF_y가 다량으로 생성되면 반응을 방해할 뿐만 아니라 퇴적물이 생긴다.

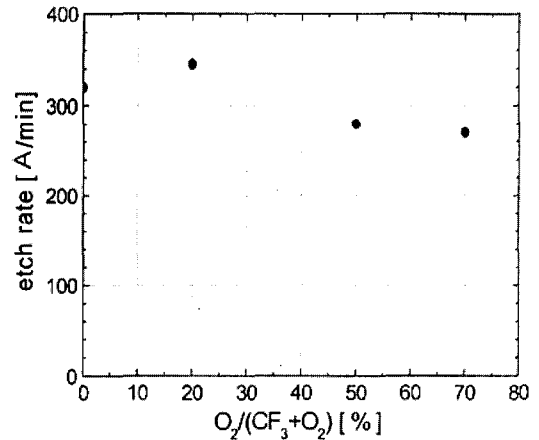


그림 5. O₂ 유량비에 따른 3C-SiC의 식각속도 변화.
Fig. 5. Etch rates of 3C-SiC as a function of various O₂ flow ratios.

그림 6은 O₂의 첨가량에 따른 식각된 각각의 3C-SiC의 단면 SEM 이미지이다. 0 %일 때는 단면 각도가 40°이지만, 20 %와 50 %에서는 거의 수직이 되어져서, 아주 좋은 단면형을 얻을 수 있었다. 그러나 O₂가 70 %에서는 표면에 퇴적물이 생긴다. 따라서 매우 좋은 수직성을 가지는 O₂ 유량비 50 %일 때이다.

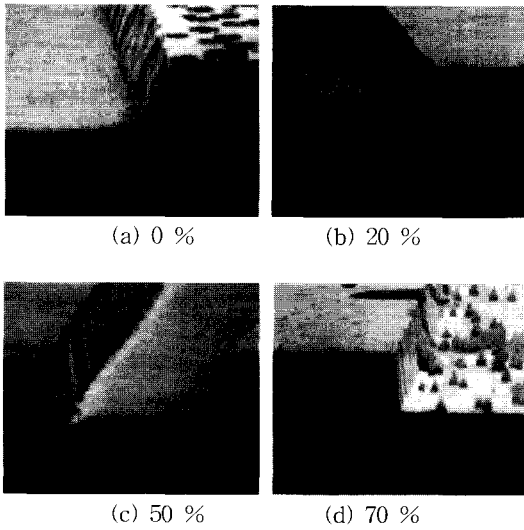


그림 6. O₂ 유량비에 따라 식각된 3C-SiC의 단면 SEM 이미지.

Fig. 6. Cross-sectional SEM images of etched 3C-SiC as a function of O₂ flow ratios.

그림 7은 식각 속도의 전극간격 의존성을 나타낸 것이다. 압력은 100 mTorr, RF power는 200 W에서 식각했다. 전극간격 20 mm에서부터 증가시키면 식각 속도는 감소하고, 25 mm에서 최소가 된다. 더욱 간격을 더 넓이면 30 mm에서 다시 약 1,000 Å/min이 되었다.

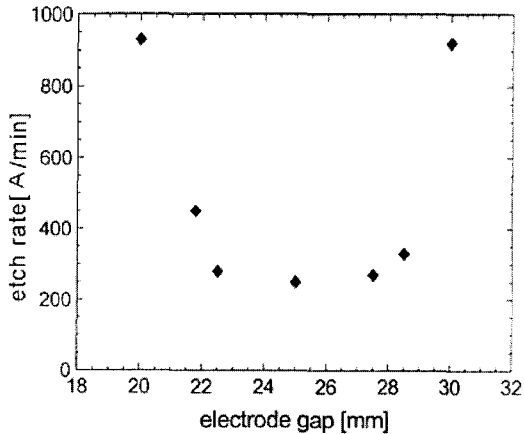


그림 7. 전극간격에 따른 3C-SiC의 식각속도 변화.
Fig. 7. Etch rate variations of 3C-SiC as a function of electrode gap.

20 mm일 때 측벽 각도가 약 45°로 되었고, 측벽 부분도 큰 요철이 생겼다. 25 mm일 때 측벽각도는 약 70°이고, 식각 후의 표면에 직경 1 μm 정도의 기공물질이 형성되었다. 30 mm에서는 단면 각도가 약 40°이었다. 전극간격 25 mm에 있어서 CHF₃ 특유의 고분자가 생성되어 측벽에 부착했기 때문에 undercut이 생기지 않고, 수직성이 좋은 측벽을 얻을 수 있다. 그러나 그 표면은 직경 1 μm 정도의 기공물질이 생겼는데, 이것은 고분자가 표면에 국부적으로 퇴적되어, 식각 마스크로서 작용하여, 부분적으로 식각이 정지되었다.

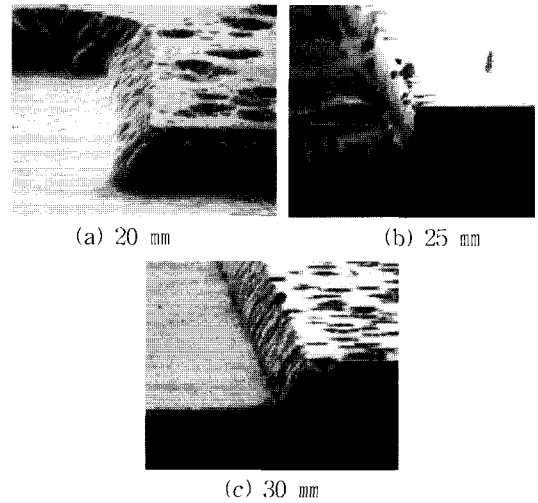


그림 8. 전극 간격에 따라 식각된 3C-SiC 박막의 단면 SEM 이미지.

Fig. 8. Cross-sectional SEM images of etched 3C SiC films at different electrode gap.

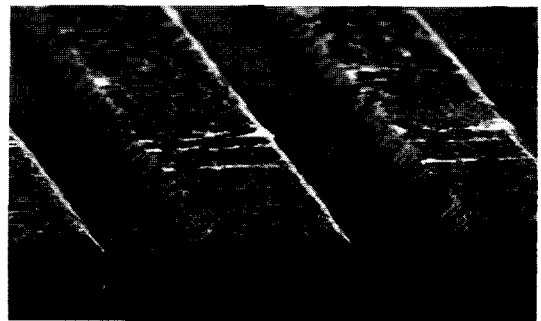


그림 9. 식각된 3C-SiC의 마스크 하부 사진.
Fig. 9. Photograph of lower parts after etched the 3C-SiC.

그림 9는 100분간 식각한 후 Al 마스크를 제거한 3C-SiC의 단면 SEM 이미지이다. Al 마스크의 막 두께가 5000 Å에서 50분간 식각한 후 마스크는 식각전과 큰 변화를 볼 수 없었다. 그러나 100분간 식각한 후에 마스크가 있던 부분의 SiC에 직경 수 μm 의 구멍을 생겼고 이는 이온 충격에 의해 Al 마스크의 얇은 부분을 제거했기 때문으로 생각된다. 이 때문에 Al 마스크가 있던 SiC 표면에 요철이 생긴다. SiC를 5 μm 식각할 경우, 약 5000 Å 이상의 Al 마스크를 증착하여야 마스크 하부의 SiC 표면이 식각되지 않는 것을 확인하였다. 이때의 3C-SiC:Al 식각 선택비는 약 10 정도이다.

4. 결론

본 연구에서는 CHF_3 가스를 이용한 RIE로 3C-SiC의 미세가공을 하였으며, 식각 조건에 따른 식각 속도를 얻었다. 또한, 가스 압력 100 mTorr, RF power 200 W, 그리고 전극간격 30 mm에서 약 40° 의 mesa형 구조가 제작하였다. O_2 유량비를 증가 시킴으로 인해 측벽이 수직으로 되어 표면에 퇴적물이 없는 이방성 식각 특성을 나타내었다. 전극간격을 25 mm로 하면 CHF_3 특유의 고분자 polymer가 생성되고, 측벽보호막으로 작용하여 수직 측벽을 얻을 수 있었다. 그러나 전극 간격이 표면 상태에도 영향을 주기 때문에 중요한 식각 변수라고 볼 수 있다. 또한, Al 마스크와 SiC간에 약 10의 식각 선택비를 얻었다. 이로써 CHF_3 식각 가스를 이용한 3C-SiC의 이방성 식각 조건을 구할 수 있었으며 반도체 부품 및 MEMS 등의 제작을 위한 3C-SiC의 식각 공정에 충분히 적용 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] P. M. Sarro, "Silicon carbide as a new MEMS technology", *Sensors & Actuators*, 82, p. 210, 2000.
- [2] Y. T. Yang, K. L. Ekinci, X. M. H. Huang, L. M. Schiavone, and M. L. Roukes, "Monocrystalline silicon carbide nanoelectromechanical systems", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 78, No. 2, p. 162, 2001.
- [3] G. T. A. Kovacs, *Micromachined Transducers Sourcebook*, McGraw Hill, 1998.
- [4] P. Chabert, "Deep etching of silicon carbide for

micromachining applications: Etch rates and etch mechanisms", *J. Vac. Sci. Technol.*, B19, p. 1339, 2001.

- [5] M. Imaizumi, Y. Tarui, H. Sungimoto, J. Tanimura, T. Takami, and T. Ozeki, "Reactive ion etching in CF_4/O_2 gas mixtures for fabricating SiC devices", *Mater. Sci. Forum.*, Vol. 338, p. 1057, 2000.
- [6] G. F. McLane and J. R. Flemish, "High etch rates of SiC in magnetron enhanced SF_6 plasmas", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 68, No. 26, p. 3755, 1996.
- [7] P. H. Yih and A. J. Steckl, "Residue-free reactive ion etching of 3C-SiC and 6H-SiC in fluorinated mixture plasmas", *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 142, No. 8, p. 2853, 1995.
- [8] S. Tanaka, K. Rajanna, T. Abe, and M. Esashi, "Deep reactive ion etching of silicon carbide", *J. Vac. Sci. Technol.*, Vol. B 19, No. 6. p. 2173, 2001.