한국전기전자재료학회 2003년도 하계학술대회 논문집

Si(100)기판위에 성장된 3C-SiC의 RIE 특성

정수용, 우형순, 진동우, 정귀상
동서대학교 정보시스템공학부

Reactive Ion Etching Characteristics of 3C-SiC Grown on Si(100) Wafers

Soo-Yong Jung, Hyung-Soon Woo, Dong-Woo Jin, and Gwiy-Sang Chung
School of Information System Eng., Dongseo Univ.

Abstract

This paper describes on RIE(Reactive Ion Etching) characteristics of 3C-SiC(Silicon Carbide) grown on Si(100) wafers. During RIE of 3C-SiC films in this work, CHF_3 gas is used to form of polymer as a side wall for excellent anisotropy etching. From this process, etch rates are obtained a 60 ~ 980 Å /min by various conditions such as CHF_3 gas flux, O_2 addition ratio, RF power and electrode distance. Also, approximately 40° mesa structures are successfully formed at 100 mTorr CHF_3 gas flow ratio, 200 W RF power and 30 ㎜ electrode distance. Moreover, vertical side wall is fabricated by anisotropy etching with 50 % O_2 addition ratio and 25 ㎜ electrode distance. Therefore, RIE of 3C-SiC films using CHF_3 could be applicable as fabrication process technology for high-temperature 3C-SiC MEMS applications.

Key Words : 3C-SiC, CHF_3, RIE, etching rate, anisotropy

1. 서 론

탄화규소는 고온 동작, 내방사성, 내부식성, 고내전압, 고신뢰성, 고전력 특성뿐만 아니라 기계적 특성이 우수하기 때문에 고압, 고주파, 고온용 차세대 반도체로 크게 주목을 받고 있다[1-2]. 특히, SiC는 급속히 발전한 Si에 비해서 큰 밴드갭, 높은 전계파괴 강도, 열전도율과 전자의 포화 드리프트 속도가 크고 Mohs'지수가 약 9정도로 다이아몬드에 다음가는 견고성, 고압, 내부식성, 빠른 응답 특성과 신뢰성 있는 정확한 측정 및 제어가 가능하고, 시스템의 소형, 경량화 등의 특성 때문에 극한 환경 MEMS(Micro Electro Mechanical System)로써 최근에 연구개발이 시작되고 있다

특히, 수많은 결정구조를 갖는 SiC중에서도 입방형 결정구조(β- 혹은 3C-SiC)는 전자이동도가 1000 ㎠/V · s로서 다른 결정구조의 SiC(4H-SiC : 950 ㎠/V · s, 6H-SiC : 450 ㎠/V · s)에 비하여 우수하며 n-형 및 p-형의 불순물 주입이 Si 소자 가공기술을 적용할 수 있어 고온, 고주파용 전자소자 및 MEMS 분야에 가장 적합하다. 따라서, 이러한 우수한 특성을 갖는 3C-SiC를 이용한 고기능, 고성능 전기, 전자, 정보통신 그리고 MEMS 개발을 위해 우선 SiC 미세가공기술이 선행되어야 한다[3].

본 연구는 반응성 플라스마 이온 식각(RIE : Reactive Ion Etching)기술을 이용한 3C-SiC의 미세가공기술에 관한 것이다. 지금까지 CF_4 가스에 O_2를 첨가한 Si 미세가공기술에 관한 연구가 이루어지고 있다[4]. 근래에 C_2F_4와 C_4F_8 등 분자량이 큰 가스를 이용한 연구가 진행되고 있다. 이들을 이용하면 이온빔에 의해 식각 제어가 가능하다. 그러나, 이들 가스에서는 반응 생성물이 배기되지 않고 시료 표면에 부착하여 표면이 거칠어지는 경우가 보고되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 퇴적물이 발생을 줄이기 위해 CHF_3 가스를 이용하여 3C-SiC의 미세가공기술을 연구하였다.

2. 실 험

본 연구에서는 APCVD법으로 Si(100)기판위에 성장된 단결정 3C-SiC막을 사용했다. RIE 식각시 금속 마스크를 사용하기 위하여 먼저, 3C-SiC 막

위에 약 1,000~5,000Å의 Al을 진공 증착한 다음, photolithography공정으로 마스크 패터닝을 했다.

본 실험에서는 13.56㎒의 RF 발진주파수를 사용했으며 Ar 유량은 20 sccm으로 고정했다. 압력 5 0~200 mTorr, RF power 50~300W, O_2 유량비 0~70 % 그리고 전극간격 20~30 ㎜에 따른 3C-SiC의 식각속도 및 표면상태를 표면형상측정장치와 SEM, 그리고 Nomaralski 미분간섭 현미경으로 분석했다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 가스압력에 따른 식각속도의 변화를 나타낸 것이다. 압력을 증가하면 식각속도도 증가하였다. 그러나, 100 mTorr에서 식각속도는 최대가 되고, 그 이상의 압력에서는 감소한다. 이는 가스가 증가하면 압력이 올라가고, 활성종과 이온량이 증가하여 식각속도도 증가한다. 그러나, 압력이 상승하면 음극강하 전압이 감소하고, 활성종과 이온의 재결합 확률이 높아지고, 활성종이 감소한다. 따라서, 압력이 100 mTorr 이상이 되면 식각속도가 감소하였다. 가스압력이 100 mTorr일때, 식각속도가 300Å/min으로 가장 빠르다.

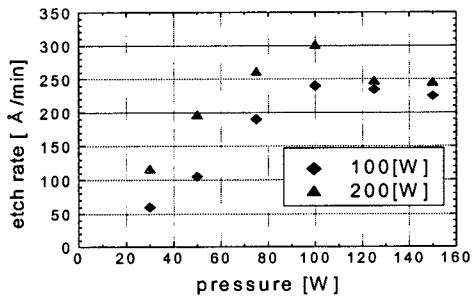
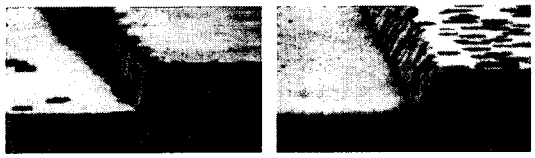


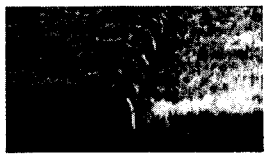
그림 1. 가스압력에 따른 3C-SiC의 식각속도 변화.

Fig. 1. Etch rate variations 3C-SiC according to gas pressures.

그림 2는 가스압력에 따라 식각된 3C-SiC의 단면 SEM 이미지이다. 200 W의 RF power와 30 ㎜의 전극간격에서 식각했다. 50 mTorr에서의 측벽각도가 약 70° 이지만, 측벽의 아래 부분에 홈이 형성되었다. 그러나, 100 mTorr에서 마스크 아래 부분에 undercut이 발생되었으며 150 mTorr로 증가하면 식각표면에 요철이 발생하여 식각표면의 평탄도가 나빠졌다. 따라서, 50 mTorr의 가스압력에서 식각할 경우, 가장 우수한 측면의 평탄도를 갖는 3C-SiC 미세가공이 가능함을 알 수 있다.



(a) 50 mTorr (b) 100 mTorr



(c) 150 mTorr

그림 2. 가스압력에 따라 식각된 3C-SiC의 단면 SEM 이미지.

Fig. 2. Cross-sectional SEM images of etched 3C-SiC according to gas pressures.

그림 3는 RF power에 따른 식각속도의 변화를 나타낸 것이다. 여기서, 100 mTorr 압력과 30 ㎜ 전극간격에서 식각하였다. RF power가 증가하면 식각속도가 증가되었다. 그러나, 이온 에너지가 크게 되며 시료표면에 나타나는 damage가 크게 되었거나 결정성의 악화를 일으킬 가능성이 커진다.

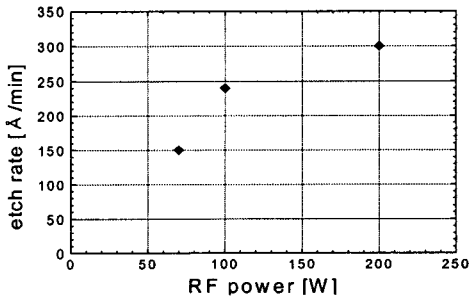
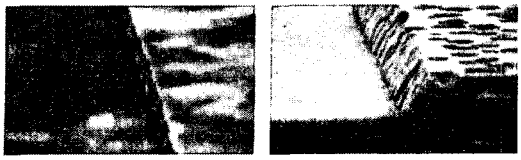


그림 3. RF power에 따른 3C-SiC의 식각속도 변화.

Fig. 3. Etch rate variations of 3C-SiC according to RF powers.

그림 4는 RF power에 따른 식각된 3C-SiC의 단면 SEM 이미지이다. 100 W일 경우는 거의 수직의 식각이 가능하지만, 200 W에서는 약 40° 의 경사가 발생했다.



(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 according to RF powers.

그림 5는 O_2 유량비에 따른 식각속도의 변화를 나타낸 것이다. 여기서, 100 mTorr의 가스압력, 200 W의 RF power 그리고 30 ㎜의 전극간격에서 식각했다. O_2 유량비를 증가시키면 식각속도가 증가한다. 그러나, O_2 첨가량이 20 %일때 식각속도는 최고였으며, 그 이상 증가하면 식각속도는 오히려 감소했다.

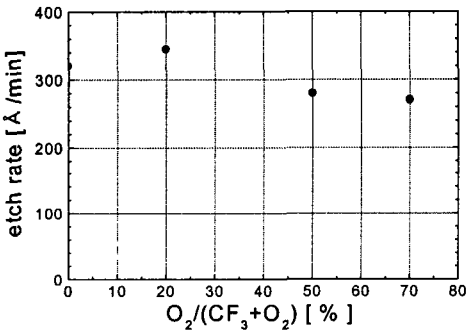
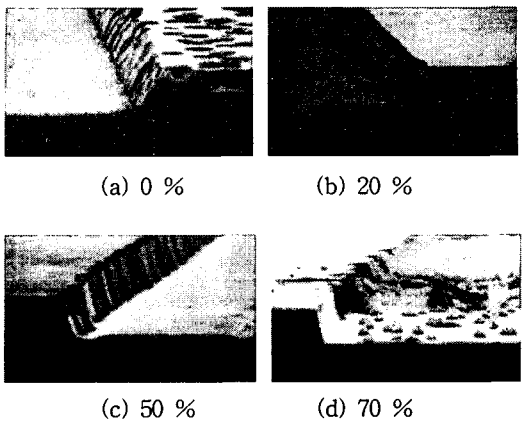


그림 5. O_2 유량비에 따른 3C-SiC의 식각속도 변화.

Fig. 5. Etch rate variations of 3C-SiC according to O_2 flow ratios.

그림 6은 O_2의 첨가량에 따른 식각된 각각 3C-SiC의 단면 SEM 이미지이다. 0 %일때는 단면각도가 40° 이지만, 나머지는 거의 수직이 되어 좋은 단면형을 얻을 수 있었다. 그러나, 70 %에서는 표면에 퇴적물이 생겨 식각을 방해한다. 따라서, O_2 유량비는 50 %가 가장 적합하다.

그림 7은 전극간격에 따른 식각속도의 변화를 나타낸 것이다. 압력은 100 mTorr이이며 RF power는 200 W로 식각했다. 전극간격 20 ㎜에서 식각속도는 최대이지만, 25 ㎜에서 최소가 되었으며 더욱 간격을 더 넓히면 30 ㎜에서 다시 약 1,000Å/min이 되었다.



(a) 0 % (b) 20 %

(c) 50 % (d) 70 %

그림 6. O_2 유량비에 따라 식각된 3C-SiC의 단면 SEM 이미지.

Fig. 6. Cross-sectional SEM images of etched 3C-SiC according to O_2 flow ratios.

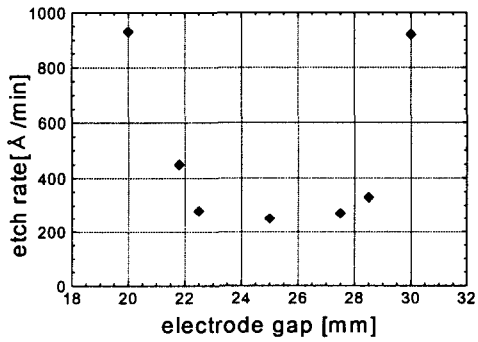
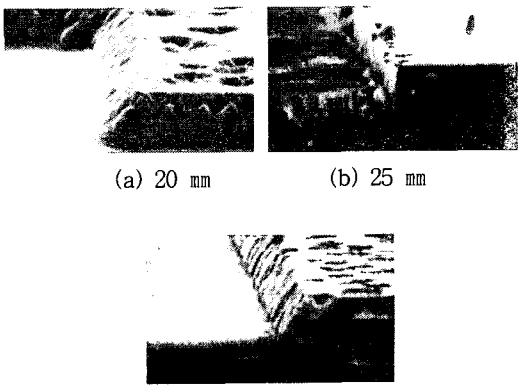


그림 7. 전극간격에 따른 3C-SiC의 식각속도 변화.

Fig. 7. Etch rate variations of 3C-SiC according to electrode gap.

그림 8은 전극간격에 따라 식각된 3C-SiC의 각각의 단면 SEM 이미지이다. 20 ㎜일때 측벽 각도가 약 45° 로 그 측벽부분도 큰 요철이 생겼다. 25 ㎜ 일 때 측벽각도는 약 70° 이고, 식각 후의 표면은 전체의 직경 1 ㎛정도의 기둥물질이 형성되고 있다. 30 ㎜에서는 단면 각도가 약 40° 이었다. 25 ㎜에 있어서 CHF_3 특유의 고분자가 생성되어 그것이 측벽에 부착했기 때문에 undercut이 생기지 않고, 수직성이 아주 좋은 측벽을 얻을 수 있다. 그러나, 그 표면은 직경 1 ㎛정도의 기둥물질이 생긴다. 이것은 고분자가 표면에 퇴적해서 마스크로서 작동되기 때문에 부분적으로 식각이 정지된 것으로 사료된다.



(a) 20 ㎜ (b) 25 ㎜

(c) 30 ㎜

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

Fig. 8. Cross-sectional SEM images of etched 3C-SiC according to electrode gap.

그림 9는 100분간 식각한후 마스크를 제거한 3C-SiC의 단면 SEM 이미지이다. 마스크가 있던 부분에 요철이 생겼다. 이는 이온 충격에 의해서 Al 마스크의 얇은 부분이 제거되었기 때문이다. 식각조건에 따라서도 변하지만, 약 5000Å이상의 마스크가 없으면 마스크 밑의 부분이 거칠어진다. 또한, RIE에 의한 3C-SiC를 미세가공할 경우, 약 10 정도의 선택비를 얻었다.

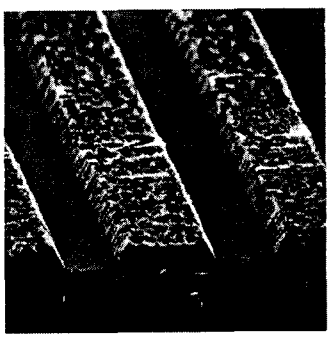


그림 9. 식각된 3C-SiC 마스크 하부의 사진.

Fig. 9. Photograph of lower part after etched 3C-SiC.

4. 결 론

CHF_3 가스를 사용한 RIE로 3C-SiC 미세가공을 했다. 식각조건에 따라, 60~980Å/min의 식각속도를 얻었으며 반도체 부품 및 MEMS 등의 제작으로 사용할 수 있는 것으로 기대된다. 또한, 가스압력 100 mTorr, RF power 200 W 그리고 전극간격 30 ㎜에서 약 40° 의 mesa형 구조가 형성되고, 산소량을 증가시키면 식각 측벽이 수직으로 되어 표면에 불안한 퇴적물이 없는 이방성 식각이 되었다. 또한, 전극간격을 25 ㎜로 하면 CHF_3 특유의 고분자가 생성되어 측벽보호막으로 작용하여 수직 측벽을 얻을 수 있었다. 그리고, Al 마스크와 SiC와의 선택비는 약 10이었다.

감사의 글

본 논문은 과학기술부의 2002년도 지역기술개발 연구사업 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

[1] P. M. Sarro, "Silicon carbide as a new MEMS technology", Sensors and Actuators, 82(2000)210.

[2] Y. T. Yang, K. L. Ekinci, X. M. H. Huang, L. M. Schiavone, and M. L. Roukes, "Monocrystalline siliconcarbide nanoelectro-mechanical systems", Appl. Phys. Lett., 78(2001)165.

[3] P. Chabert, "Deep etching of silicon carbide for micromachining applications: Etch rates and etch mechanisms.", J. Vac. Sci. Tech., B19(2001)1339.

[4] M. Imaizumi, Y. Tarui, H. Sungimoto, J. Tanimura, T. Takami, T. Ozeki, "Reactive ion etching in CF_4/O_2 gas mixtures for fabricating SiC devices.", Mater. Sci. Forum., 338(2000)1057.