Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 17, No. 3, p. 299, March 2004.

논 문 17-3-9

# MEMS 적용을 위한 Thermal CVD 방법에 의해 증착한 SiC막의 반응성 이온 Etching 특성 평가

# Reactive ion Etching Characterization of SiC Film Deposited by Thermal CVD Method for MEMS Application

최기용[1,2], 최덕균[2], 박지연[3], 김태송[1,a]
(Gi Yong Choi[1,2], Duck Kyun Choi[2], Ji Yeon Park[3], and Tae Song Kim[1,a]

**Abstract**

In recent years, silicon carbide has emerged as an important material for MEMS application. In order to fabricate an SiC film based MEMS structure by using chemical etching method, high operating temperature is required due to high chemical stability. Therefore, dry etching using plasma is the best solution. SiC film was deposited by thermal CVD at the temperature of 1000℃ and pressure of 10 torr. SiC was dry etched with a reactive ion etching (RIE) system, using $SF_6/O_2$ and $CF_4/O_2$ gas mixture. Etch rate has been investigated as a function of oxygen concentration in the gas mixture, rf power, working pressure and gas flow rate. Etch rate was measured by surface profiler and FE-SEM. $SF_6/O_2$ gas mixture showed higher etch rate than $CF_4/O_2$ gas mixture. Maximum etch rate appeared at RF power of 450W. $O_2$ dilute mixtures resulted in an increasing of etch rate up to 40%, and the superior anisotropic cross section was observe

**Key Words** : MEMS, SiC, RIE, Dry etching

## 1. 서 론

SiC는 융점과 경도가 높고, 고온에서 기계적 성질이 우수하여 내산화, 내부식, 내마모, 열 충격 방지등 주로 고온구조재료의 용도로 사용하기 위해 많이 연구되어졌다[1]. 그러나, 최근 몇 년 동안 SiC 박·후막은 MEMS 응용을 위하여 중요한 물질로서 제안되고 있다[2,3].

SiC는 wide band gap, high thermal conductivity, 그리고 열팽창계수가 낮은 성질을 가지고 있다[4]. 또한, SiC는 기계적 강도가 높고 화학적으로 안정하기 때문에 기계가공이 아주 어렵다. 따라서, 화학적으로 또는 기계적으로 좋지 않은 극한 분위기에 적용하기 위한 MEMS 구조물을 구성하는 구조재료와 coating layer로서 최적의 물질로 평가된다.

습식에칭을 이용한 chemical 에칭은 고온의 공정이 필요하게 되고 에칭 단면은 등방성을 가진다고 알려져 있고, Si-C bonding energy가 크기 때문에 etch 하는데 있어서 커다란 문제점을 가지기 때문에 플라즈마를 이용한 에칭기술이 필요하다[5-6]. 특히, 일반적으로 사용되던 산 과 강알칼리와 같은 기본 용액들은 일반적인 온도에서는 반응을 하지 않게 된다. 따라서, 저온에서 안정적인 구조물을 만들기 위한 플라즈마 (건식) 에칭이 반드시 필요하며, 이에 대한 안정적이고 재현성있는 공정개발이 요구된다. 플라즈마 에칭에 사용되는

1. 한국과학기술연구원 마이크로시스템연구센터
(서울시 성북구 하월곡동 39-1)
2. 한양대학교 세라믹공학과
3. 한국원자력원구소
a. Corresponding Author : tskim@kist.re.kr
접수일자 : 2003. 10. 1
1차 심사 : 2003. 10. 27
심사완료 : 2003. 11. 10

mask 재료로는 주로 Al, Ni, ITO, Cr, $SiO_2$, 그리고 photoresist등이 사용되어 왔다[7,8].

본 연구에서는 SiC film을 membrane으로 이용하기 위해서 thermal CVD 방법을 이용하여 증착시켰다. 그리고, SiC film의 에칭조건을 최적화하기 위해서 $SF_6/O_2$와 $CF_4/O_2$의 혼합 가스를 사용하고 reactive ion etching (RIE) system을 이용하여 건식 에칭하였다. 에칭 조건으로는 혼합가스내의 산소농도와 working pressure를 변화시켜 이에 따른 에칭 속도를 조사하고, 단면을 SEM으로 관찰하여 에칭 상태를 조사하였다. 또한, MEMS 적용을 위해 Si wafer의 back side 에칭을 통하여 SiC membrane을 형성하였다.

## 2. 실 험

### 2.1 SiC film 증착

SiC는 thermal CVD 방법을 이용하여 silicon wafer 위에 증착되었다. 증착조건은 1000℃에서 10 torr의 압력 하에서 증착되었다. 원료 물질은 MTS(methyltrichlorosilane; $CH_3SiCl_3$)을 사용하였고, 희석 및 운반기체는 수소를 이용하여 증착하였다. 그리고, 1시간과 4시간의 반응시간을 가지고 SiC film을 증착하였다.

### 2.2 SiC etching 특성분석

SiC film을 건식 에칭하기 위한 mask로는 반응가스와 높은 rf power에 견딜 수 있게 하기 위해서 metal mask를 이용하였다. 에칭 마스크로는 SiC film 위에 lift-off 방법을 이용하여 E-beam evaporator(EBX-1000C, ULVAC)를 사용해 Al 막을 6000 Å을 증착시켰다.

에칭 sample은 1.5×1.5 cm의 크기로 만들어서 사용하였다. 건식 에칭은 reactive ion etching(RIE; Plasma Therm 790 Series)을 이용하여 실험을 하였다. 에칭 가스로는 $CF_4/O_2$와 $SF_6/O_2$의 혼합가스를 사용하였고, 기본적인 에칭 조건으로는 가스 flow rate와 공정압력을 각각 20 sccm과 20 mtorr를 사용하여 가스의 종류에 따른 etch rate와 rf power의 변화에 대한 etch rate를 비교하였다.

위의 실험에 의해 정해진 가스의 종류와 rf power에 대해서 다시 산소의 농도를 0~40 %의 변화를 주어 측정을 하였다. 그리고, 공정압력 변화에 따른 에칭실험을 하였다.

마지막으로 최적화된 조건에서 가스 flow rate에 따른 에칭실험을 하였다. etch rate는 surface profiler와 FE-SEM 사진을 이용하여 결정하였으며 에칭단면은 FE-SEM 사진을 이용하였다.

그리고, MEMS공정에 적용하기 위한 SiC membrane은 그림 1과 같이 Si wafer 뒷면에 PECVD를 이용하여 SiNx를 증착시켜서 RIE를 사용하여 back etching pattern을 만들었고, TMAH를 이용하여 Si wafer를 에칭하여 SiC membrane을 만들었다.

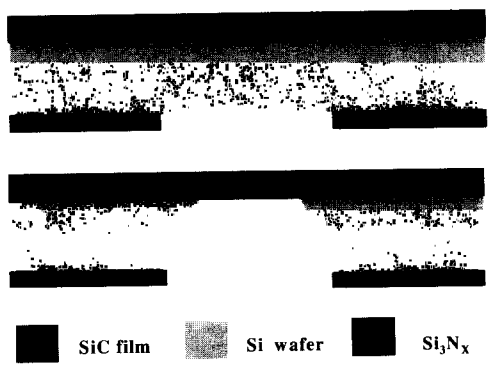
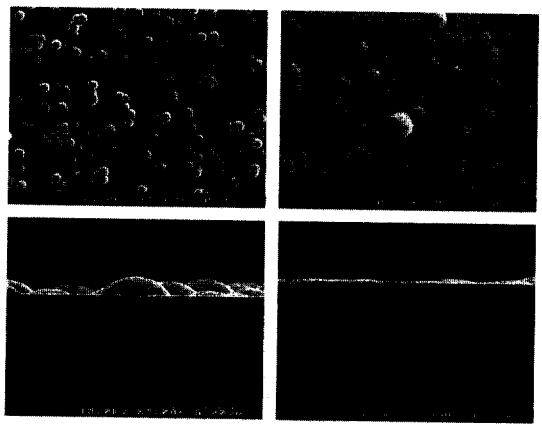



**그림 1.** SiC bulk micromachining에 대한 공정도.
**Fig. 1.** Schematic view of the process flow for SiC bulk micromachining.

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 Si wafer에 증착된 SiC의 표면과 단면의 SEM 미세구조 사진이다. 그림 2 (a)와 (b)는 각각 1, 4시간의 반응시간에 따라 증착된 SiC film을 나타내었다. SiC film은 증착시에 아일랜드 구조를 만들면서 성장하기 때문에 SEM 사진에서 보여주듯이 1시간의 반응조건에서는 round-top구조를 나타내고 있으며, 아직 성장 초기단계이므로 표면의 아일랜드가 표면에 많이 산재되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 4시간을 반응시켜 성장한 것보다 아일랜드의 높이가 매우 큰 것을 볼 수 있었으나, 4시간의 반응시간에서는 아일랜드의 형성이 일어난 후에 어느 정도 성장단계를 거치면서 round-top구조는 서서히 완화되고 아일랜드들이 옆으로 성장하여 완만하고 일정한 두께의 막으로 성장함을 알 수 있었고, 반응 시간의 증가에 따라 SiC의 막의 두께 가 증가하여 막의 거칠기도 향상되는 것을 그림 2를 통하여서 확인할 수 있었다[9].



(a) (b)

**그림 2.** 반응시간에 따른 SiC film의 표면과 단. SEM 사진 (a) 1시간 , (b) 4시간.

**Fig. 2.** SEM image of the surface and cross section of SiC film deposited by reactive time (a) 1 hour, (b) 4 hours.

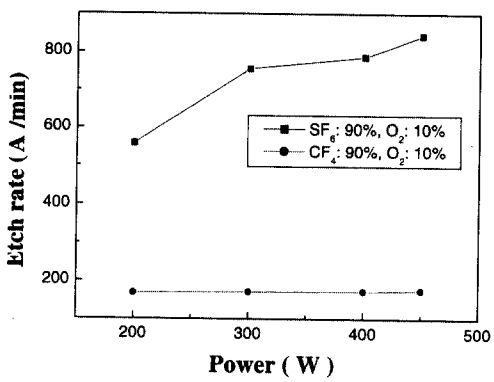



**그림 3.** 반응 gas와 rf power에 변화에 따른 etch rate.

**Fig. 3.** Etch rates as the function of the reactive gas and rf power.

그림 3에서는 에칭 가스의 종류와 RF power에 변화에 따른 etch rate를 나타내었다. $CF_4$와 $O_2$의혼합 가스 경우는 etch rate가 170 Å/min정도가 되었으며 $SF_6$와 $O_2$의 혼합 가스의 경우는 840 Å /min으로 약 5배정도의 차이를 보이는데, 이것은 $CF_4/O_2$의 혼합 가스의 반응식에서 reaction product와 플라즈마내에 $CF_X$ 와 (CO, $CO_2$) 같은 물질을 포함하고 있어서 SiC와의 반응이 느려지기 때문에서 etch rate가 떨어지게 된다. 반면에 $SF_6$의 경우는 reaction product를 포함하지 않기 때문에 반응 속도가 빨라지게 된다[10].

위의 결과로부터 $SF_6$의 혼합가스가 $CF_4$의 혼합 가스에 비해 현저한 etch rate의 차이를 보이기 때문에 반응 gas는 $SF_6$로 결정하였고, rf power는 최고 etch rate를 나타내는 450 W로 정하였다.

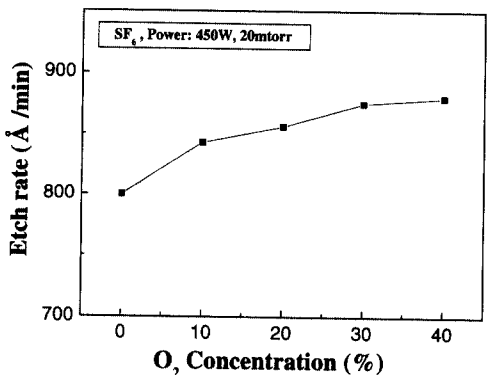



**그림 4.** 산소 농도변화에 따른 etch rate.

**Fig. 4.** Etch rate as a function of oxygen content within plasma.

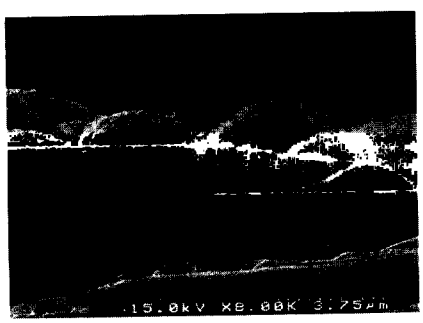
그림 4는 산소의 농도에 따른 etch rate의 변화를 보여 주고 있다. 산소를 첨가하지 않았을 때에는 800 Å/min의 etch rate를 보여 주었으며, 산소의 농도가 증가함에 따라 etch rate가 점차 증가하여 40 %의 농도에서는 880 Å/min의 etch rate를 나타내었다. 일반적으로 Si의 에칭에 있어서는 산소의 증가에 따라 etch rate가 점차 떨어지는 것을 알 수 있으나[6], SiC의 에칭에 있어서 산소의 존재는 $SF_6$로부터 표면에 에칭부산물(CF, $CF_2$)이 형성되는 것을 방지한다고 생각되어 산소의 증가에 따라 증가하는 것으로 생각되어진다[11]. 그러나, 산소가 계속해서 증가하게 된다면 F원자의 상대적인 감소에 의해서 etch rate가 감소할 것이라고 예상되어진다.

그림 5는 산소농도에 따른 SiC film의 에칭단면을 나타낸 SEM 사진이다. 사진에서 보듯이 산소농도에 관계없이 식각된 단면이 등방성의 식각 단면을 나타내지 않고, 이방성의 수직한 식각 단면을 보여주고 있다.

이렇게 얻어진 결과로부터 40 %의 산소함량으로 고정시키고, 공정압력의 변화에 따른 etch rate의 변화를 측정한 결과를 그림 6에 나타내었다.

etch rate는 공정압력의 증가함에 따라 100 mtorr까지는 크게 증가하다가 100 mtorr의 이상으로 압력의 증가에 따라 etching rate가 점차 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 식각 압력이 증가함에 따라 초기에는 반응 가스의 상대적인 양의 증가에 의하여 반응 가스와 SiC와의 반응성이 증대되다가 100 mtorr 이상으로 증가함에 따라 오히려 플라즈마 내에 존재하는 가스량의 증가에 의한 mean free path의 감소가 영향을 미쳤기 때문으로 생각된다. 그림 7은 가스 flow rate에 따른 etch rate를 나타내었다. 그림에서와 같이 40 sccm의 가스 flow rate에서 최고의 etch rate를 나타난 것을 알 수 이었다. 그리고, 100 sccm의 가스 flow rate까지는 계속해서 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있었다. 이것은 위의 그림 6에서 나타난 결과와 유사하게 생각해 볼 수 있다. 40 sccm이상의 가스 flow rate에서는 플라즈마내의 존재하는 가스량이 포화상태에 이르러 점차적으로 감소하였다고 생각된다.

(a)




(b)

**그림 5.** $O_2$ 농도에 따른 에칭 단면의 SEM 사진. (a) 30% (b) 40%.

**Fig. 5.** SEM image of the cross section of SiC film etched by oxygen content within plasma (a) 30%, (b) 40%.

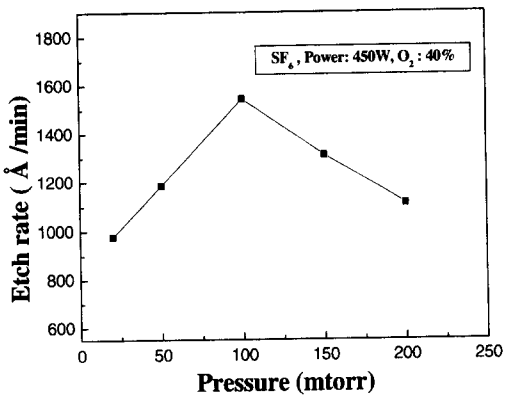



**그림 6.** 공정압력 변화에 따른 etch rate.

**Fig. 6.** Etch rate as a function of plasm pressure.

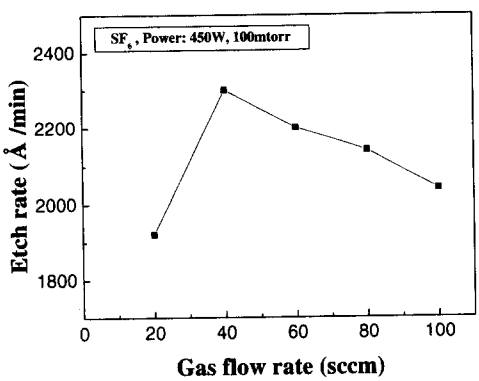



**그림 7.** Gas flow rate에 따른 etch rate.

**Fig. 7.** Etch rate as a function of gas flow rate.

마지막으로 MEMS에 응용하기 위한 SiC membrane은 그림 1의 공정에 의해서 제작된 단면을 그림8에서 SEM 사진으로 나타내었다. 그림 8에서 나타나듯이 SiC film은 산과 강알칼리에 강하기 때문에 TMAH에 의한 Si 기판의 back side 에칭 후에 SiC의 표면에 손상없이 membrane을 만들 수 있었다. 이러한 결과로부터 SiC film이 etch stop 구실을 하여 향후 MEMS 소자에 적용하는데 큰 이점으로 작용할 것이다.

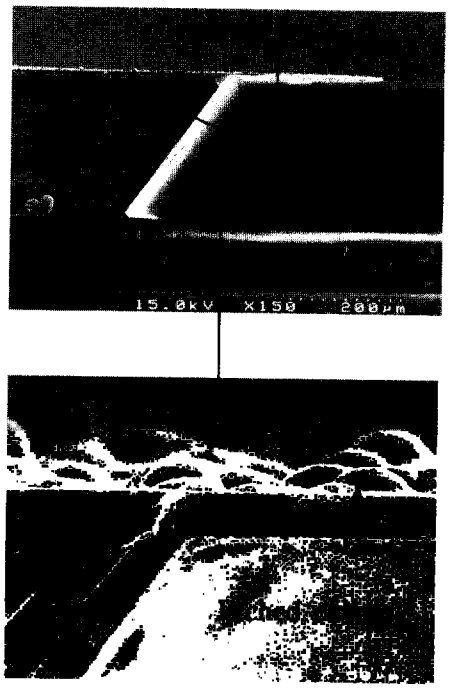



**그림 8.** SiC film이 증착된 Si 기판의 back side 에칭된 SEM 단면사진.

**Fig. 8.** SEM image of the cross-section of back side etched Si wafer.

## 4. 결 론

MEMS 소자에 적용하기 위한 SiC 박막은 thermal CVD 방법에 의해서 1000℃의 온도에서 10 torr의 압력 하에서 Si 기판 위에 증착되었다. $SF_6$와 $O_2$의 혼합 가스가 $CF_4$와 $O_2$의 혼합 가스에 비해서 etch rate가 약 5배가 높은 것을 확인할 수 있었으며, 450 W의 rf power에서 최대 etch rate가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 $O_2$의 농도에 따른 에칭 실험에서는 $O_2$의 농도가 증가함에 따라서 etch rate가 증가함을 보여주었다. 또한, 에칭된 단면은 등방성의 단면이 아닌 수직한 단면이 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 공정압력에 따른 에칭 실험에서는 압력이 증가함에 따라 etch rate가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있었으나, 공정압력이 100 mtorr 이상에서는 점차 감소하는 것을 보여 주었다. 마지막으로 가스의 flow rate에 의한 실험에서 40 sccm 이상에서는 etch rate가 떨어지는 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 지능형 마이크로시스템 개발사업(http://www.microsystem.re.kr)의 연구비지원을 받아 수행되었음 ; 과제협약번호 MS-02-133-01.

## 참고 문헌

[1] 고준호, 우성일, "실리콘 카바이드 박막제조를 위한 증착 반응연구", 전기전자재료학회논문지, 4권, 4호, p. 346, 1991.

[2] M. Mehregany and C. A. Zorman, "SiC MEMS : opportunities and challenges for applications in harsh environments", Thin Solid Films, Vol. 355/356, p. 518, 1999.

[3] P. M. Sarro, "Silicon carbide as a new MEMS technology", Sen.Actuators A, Vol. 82 p. 210, 2000.

[4] S. Sriram, R. C. Clarke, A. A. Burk, Jr., H. M. Hobgood, P. G. McMullin, P. A. Orphanos, R. R. Siergiej, T. J. Smit, C. D. Brandt, M. C. Driver, and R. H. Hopkins, "RF performance of SiC MESFET's on high resistivity substrates", IEEE Electron Device Lett., Vol. EDL-15, p. 458, 1994.

[5] K. Xie, J. R. Femish, J. H. Zhao, W. R. Buchwald, and L. Cacas, "Low damage and residue-free dry etching of 6H - SiC using electron cyclotron resonance plasma", Appl. Phys. Lett., Vol. 67, p. 368, 1995.

[6] P. H. Yih, V. Saxena, and A. J. Steck, "A review of SiC reactive ion etching in fluorinated plasmas", Phys. Stat. Sol. (b), Vol. 202, p. 605, 1997.

[7] M. G. Rastegaeva, A. N. Andreev, V. V. Zelenin, A. I. Babanin, I. P. Nikitina, V. E. Chelnokov, and V. P. Rastegaev, "Silicon Carbide and related Materials, International Physics Conference", Kyoto, Japan, Ser. No. 142, 1995.

[8] P. Chabert, N. Proust, J. Perrin, and R. W. Boswell, "High rate etching of 4H-SiC

using a $SF_6/O_2$ helicon plasma", Appl. Phys. Lett., Vol. 76, p. 2310, 2000.

[9] 정귀상, 정연식, Shigehiro Nishino, "Si(100) 기판 위에 성장된 3C-SiC 박막의 물리적 특성", 전기전자재료학회논문지, 15권, 11호, p. 953, 2002.

[10] J. Sugiura, W. J. Lu, K. C. cadien, and A. J. steckl, "Reactive ion etching of sic thin films using fluorinated gases", J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 4(1), p. 349, 1986.

[11] Chabert P, "Deep etching of silicon carbide for micromachining applications: Etch rates and etch mechanisms", J. Vac. Sci. Technol. B, Vol. 19, p. 1339, 2001.