

## HDP를 이용한 실리콘 단결정 Deep Dry Etching에 관한 특성

박우정<sup>†</sup> · 김장현 · 김용탁 · 백형기 · 서수정 · 윤대호

성균관대학교 신소재공학과

(2002년 4월 19일 접수; 2002년 5월 4일 승인)

### Characterization of Deep Dry Etching of Silicon Single Crystal by HDP

Woo-Jung Park<sup>†</sup>, Jang-Hyun Kim, Yong-Tak Kim, Hyung-Ki Beak, Su-Jeong Suh and Dae-Ho Yoon

Department of Advanced Materials Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

(Received April 19, 2002; Accepted May 4, 2002)

#### 초 록

현재 전기·전자 기술의 추세는 소형화를 비롯하여 집적화, 저전력화, 저가격화의 장점을 가진 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) device의 개발에 주력하고 있으며, 이를 위해서는 고종횡비와 높은 식각 속도를 가진 HDP(High Density Plasma) etching 기술 개발이 필수적이라 할 수 있다. 이를 위하여 우리는 Inductively Coupled Plasma(ICP) 장비를 이용하여 각 공정 변수에 의한 실리콘 deep trench 식각 반응을 연구하였다. 실험 공정 변수인 platen power, etch/passivation cycle time에서 etching 단계 시간에 따른 변화와 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량을 변화시켜 연구하였으며 또한 이들의 profile, scallops, 식각 속도, 균일도, 선택비도 관찰하였다.

#### ABSTRACT

The present tendency of electrical and electronics is concentrated on MEMS devices for advantage of miniaturization, intergration, low electric power and low cost. Therefore it is essential that high aspect ratio and high etch rate by HDP technology development, so that silicon deep trench etching reactions was studied by ICP equipment. Deep trench etching of silicon was investigated as function of platen power, etch step time of etch/passivation cycle time and SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> flow rate. Their effects on etch profile, scallops, etch rate, uniformity and selectivity were also studied.

**Key words :** Inductively Coupled Plasma(ICP), Deep trench, Silicon dry etching

#### 1. 서 론

Micromachining의 발전과 Micro-Electro-Mechanical-System (MEMS)의 출현은 Very Large Scale Intergration(VLSI) 기술에 대한 도전이고, 또한 반도체 산업의 발전에 새로운 방향을 제시하였으며, 오늘날 주된 MEMS의 연구는 센서와 미세구조물의 제작과 특히 반도체 공정에 근거를 둔 micromachining에 집중되고 있다. 현재의 식각 공정은 수백 micro의 식각 깊이가 요구되며 이것을 실현하기 위해서는 식각 속도 역시 증가시켜야 할 필수 요건이다. 현재의 deep etching 기술은 3 μm/min의 수준이며 앞으로 요구될 etch depth를 충족 시키기 위해서는 더 빠른 식각 속도의 공정과 이에 따른 손상 및 오염을 최소화 시켜야 한다. 따라서 더 낮은 압력에서 더 높은 플라즈마 밀도를

갖는 플라즈마 발생장치에 대한 요구가 증대되고 있다.<sup>1-5)</sup>

이에 사용되고 있는 건식 식각 방법에는 고주파 방전에 의해 생성된 플라즈마를 이용한 반응성 이온 식각(Reactive Ion Etching, RIE)과 microwave의 주파수를 일치시켜 공조 흡수에 의해 플라즈마를 생성하는 전자 싸이크론 공조(Electron Cyclotron Resonance, ECR) 방법이 있는데 두 가지 식각 방법 모두 식각 속도의 제어가 용이하고 이방성 식각(anisotropic etching)을 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 반응성 이온 식각은 식각 반응의 선택도가 낮으며 이온충격(ion bombardment)에 의한 웨이퍼의 손상 때문에 열적 및 전기적 손상에 매우 민감한 정밀 전자소자(microelectronic devices)제조에는 이용하기 어려운 단점이 있다. 전자 싸이크론공조 식각은 자기장 구배의 퍼짐성 때문에 플라즈마가 방전영역에서 식각 영역으로 전달되는 과정에서 이온과 라디칼이 이완되거나 재결합하면서 그 양이 감소하여 식각 속도, 선택도 및 식각 균일성을 감소시킨다는 단점이 있다.<sup>6-10)</sup> 한편, ICP를 이용한 장비는 이러한 단점들을 보완하고 고밀도 플라즈마

<sup>†</sup>Corresponding author : Woo-Jung Park  
E-mail : friendship74@mail.skku.ac.kr  
Tel : +82-31-290-7388 Fax : +82-31-290-7371

원을 이용하여 패턴의 정확한 제어, 수직 profile, 높은 식각 속도의 장점을 가지고 있어 최근 미세구조의 제작에 많이 이용되고 있다.<sup>1,11-13)</sup>

본 연구에서는 고밀도 플라즈마(High Density Plasma)인 ICP 장비를 이용하여 정확한 미세 패턴구조를 형성하기 위해 platen power, etch/passivation cycle time에서 etching 단계 시간에 따른 변화와 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량의 조건 변화에 따른 deep trench 식각 특성을 연구하였다.

## 2. 실험방법

실험에 사용한 장비는 STS(Surface Technology Systems)사의 Multiplex ICP(ASE<sup>HR</sup>)를 사용하였다. 본 장비는 electronics, loadlock, wafer loader와 process chamber로 구성되어 있고, 플라즈마 분포가 균일하고 높은 이방성 식각과 함께 높은 식각 속도를 갖는 것이 특징이다. 이들 시스템은 각각 etching과 passivation이 주기적으로 작동하는데 이때 주기적으로 가스가 바뀌어진다. Passivation 단계에서 사용되는 C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 플라즈마는 fluorocarbon polymer를 증착 시키고 etching 단계에서 사용되는 SF<sub>6</sub> 플라즈마는 증착 되어진 fluorocarbon polymer와 실리콘 식각하는 과정을 주기적으로 반복한다. 시편은 p-type Si(100)의 4 inch wafer를 사용하였으며 wafer의 불순물을 제거하기 위해 trichloroethylene, acetone, methanol, D.I. water의 순서로 5분씩 초음파 세척을 하였다. 세척한 시편을 spin coater에 올려놓고 그 중앙에 positive photoresister(AZ 9016)를 떨어뜨린 후 5000 rpm의 회전속도로 20 sec 동안 spin coater를 작동하여 도포하였으며 각각 soft baking(85°C, 30 sec)과 hard baking(110°C, 20 sec)을 실시하였다. Glass mask를 사용하여 ultraviolet으로 20 mW, 10 sec 동안 노출시킨 후 RF frequency 13.56 MHz, base pressure  $5 \times 10^{-8}$  Torr인 ICP 장비로 platen power, etch/passivation cycle time에서 etching 단계 시간의 변화, SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량의 공정변수를 두어 실리콘 deep trench 식각 공정을 수행하였으며, 실험 조건은 Table 1에 나타내었다. 식각 후 식각 속도, profile, scallops는 SEM(Scanning Electron Microscopy)으로 비교 분석하였으며, 균일도는 최대 식각 속도에서 최소 식각 속도를 뺀 후 평균 식각 속도로 나누어 계산하였으며, 선택비(PR:Si 선택비)는 Si 식각 속도에 mask 식각 속도를 나누어 계산하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. Platen Power의 식각 특성 비교

공정 압력과 coil power를 각각 25 mTorr와 600 W, etch/passivation cycle time 8 sec/6 sec, SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스 유량을 130:110 sccm으로 유지하고 platen power만을 5~50

Table 1. Experimental Condition Parameters

Sample	Pressure (mTorr)	Platen power (W)	Coil power (W)	Etch/passive time (sec)	SF <sub>6</sub> /O <sub>2</sub> :C <sub>4</sub> F <sub>8</sub> Flow rate (sccm)
1		5			
2		20			
3		30			
4		50			
5				8:6	
6					130/13:110
7					
8					
9	25		600	5:5	
10				7:5	
11		20		9:5	
12				10:5	
13					50/5:50
15					100/10:100
16				8:6	200/20:160
17					260/26:220

W로 변화시켜 약 80 μm와 6 μm의 선폭을 갖는 패턴을 30분간 식각 후 SEM을 통해 관찰하였다. Fig. 1에서 알 수 있듯이 5 W에서는 패턴이 거의 식각 되지 않았음을 알 수 있었으며, 20 W에서도 식각 후 패턴 안쪽에 grass들이 남아 있었다. 그리고 platen power가 증가할수록 패턴의 넓이와 깊이가 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 2에서는 platen power 변수에 따른 profile, 선택비, 균일도, 식각 속도, scallops의 변화를 나타내었다. 80 μm와 6 μm의 선폭이 platen power가 증가함에 따라 대체로 감소하는 경향을 나타내었으며 80 μm 패턴에서 30 W가 91.060°, 6 μm 패턴에서 50 W가 90.170°로 수직 profile에 가장 근접함을 알 수 있었고 모든 패턴이 re-entrant로 나타났다. 균일도는 20 W의 조건에서 0.14%로 가장 균일하게 식각되었다. 선택비 또한 5 W에서 식각 되지 않은 것을 고려한다면 20 W에서 가장 우수하다는 것을 알 수 있다. 식각 속도는 platen power가 증가할수록 증가하는 경향을 보였고, 특히 30 W에서 2.51 μm/min으로 가장 높게 나타났으며 30 W 이상에서는 식각 속도가 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 식각이 진행됨에 따라 중형비의 증가로 인한 것으로 판단된다. 그리고 scallops는 platen power가 증가할수록 700 nm에서 157 nm로 현저하게 감소한 것을 알 수 있었다.

### 3.2. Etch/Passivation Cycle Time에 따른 식각 특성의 비교

Fig. 3은 80 μm와 6 μm의 선폭을 갖는 패턴에서 공정압

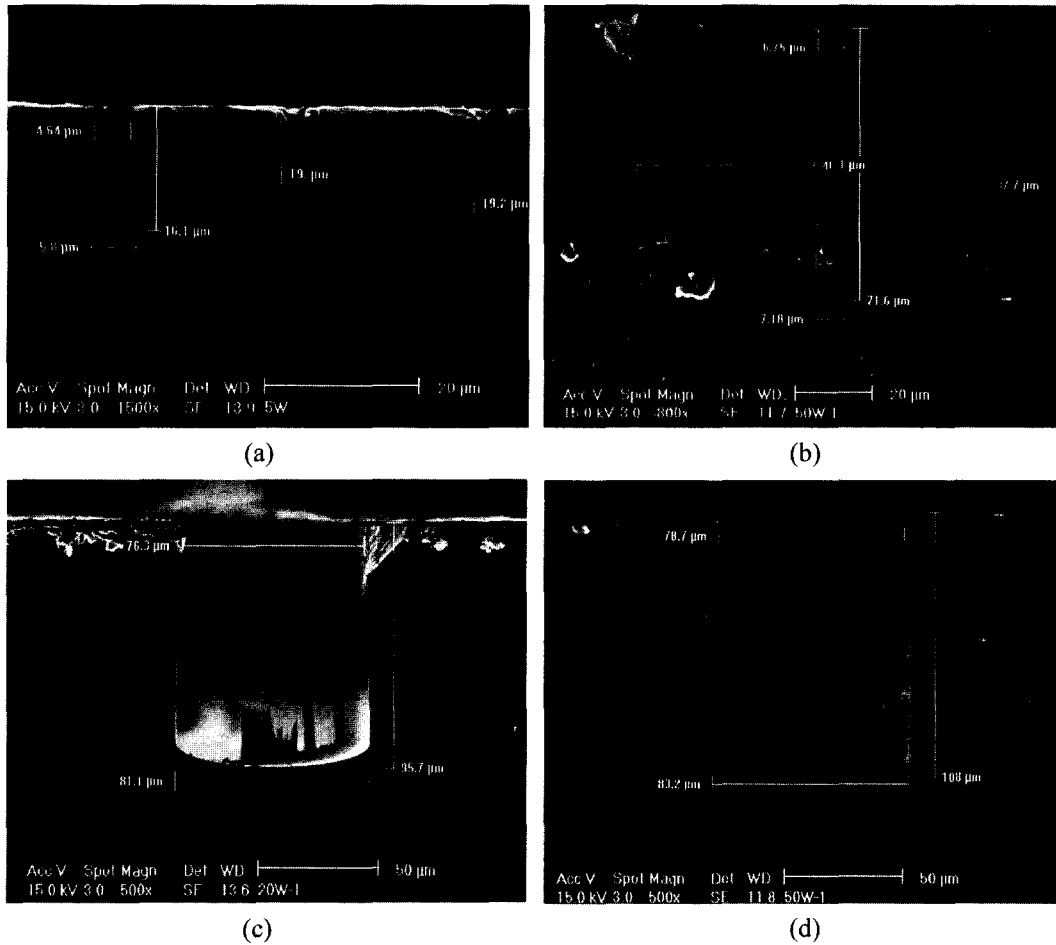


Fig. 1. Dependence of platen power parameter. (a) platen power 5 W (6 µm) (b) platen power 50 W (6 µm) (c) platen power 20 W (80 µm) (d) platen power 50 W (80 µm).

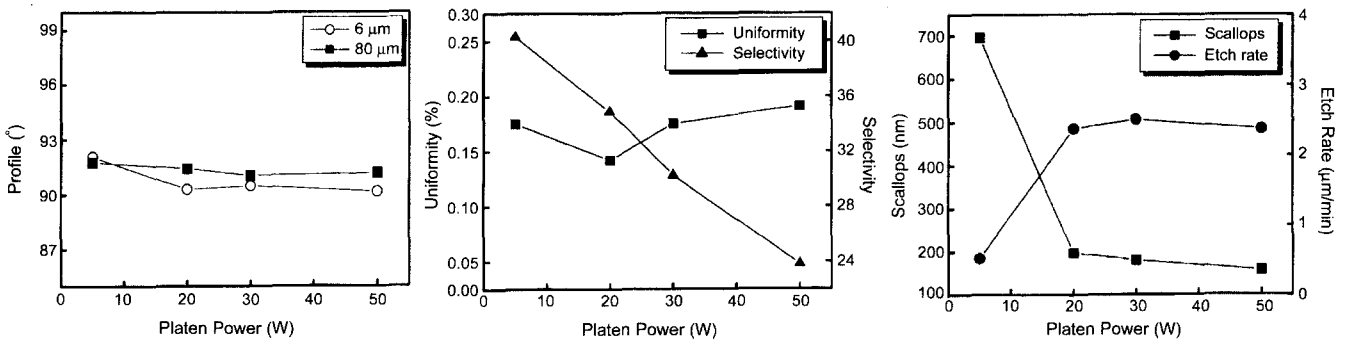


Fig. 2. Comparison of profile, uniformity, selectivity, etch rate and scallops as effect of platen power.

력 25 mTorr, coil power 600 W, platen power 20 W, SF<sub>6</sub>: C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스 유량을 130 : 110 sccm으로 유지하고 etch/passivation cycle time에서 passivation 시간을 5초로 고정한 다음 식각 시간만을 5~10초로 변화시켜 30분간 식각한 후 SEM으로 관찰한 것이다. 식각 시간이 증가할수록 패턴의 넓이와 깊이가 증가하는 현상을 나타내었다. 그러나 식각 시간이 증가할수록 패턴의 윗부분의 벌어짐이 심화되면

서 식각 시간 9초 이상에서는 6 µm 패턴에서 bowing 현상이 나타났으며, 10초에서는 80 µm, 6 µm 모두 over etch 되었고 undercut도 심하게 나타났다. Fig. 4는 etch/passivation cycle time에서 식각 시간의 변화에 따른 식각 특성을 비교한 것이다. 식각 시간이 5초일 때 profile은 80 µm 패턴에서 89.675°, 6 µm 패턴에서 89.730°로 가장 수직 profile에 근접함을 나타내었으며 식각 시간이 9초 이상

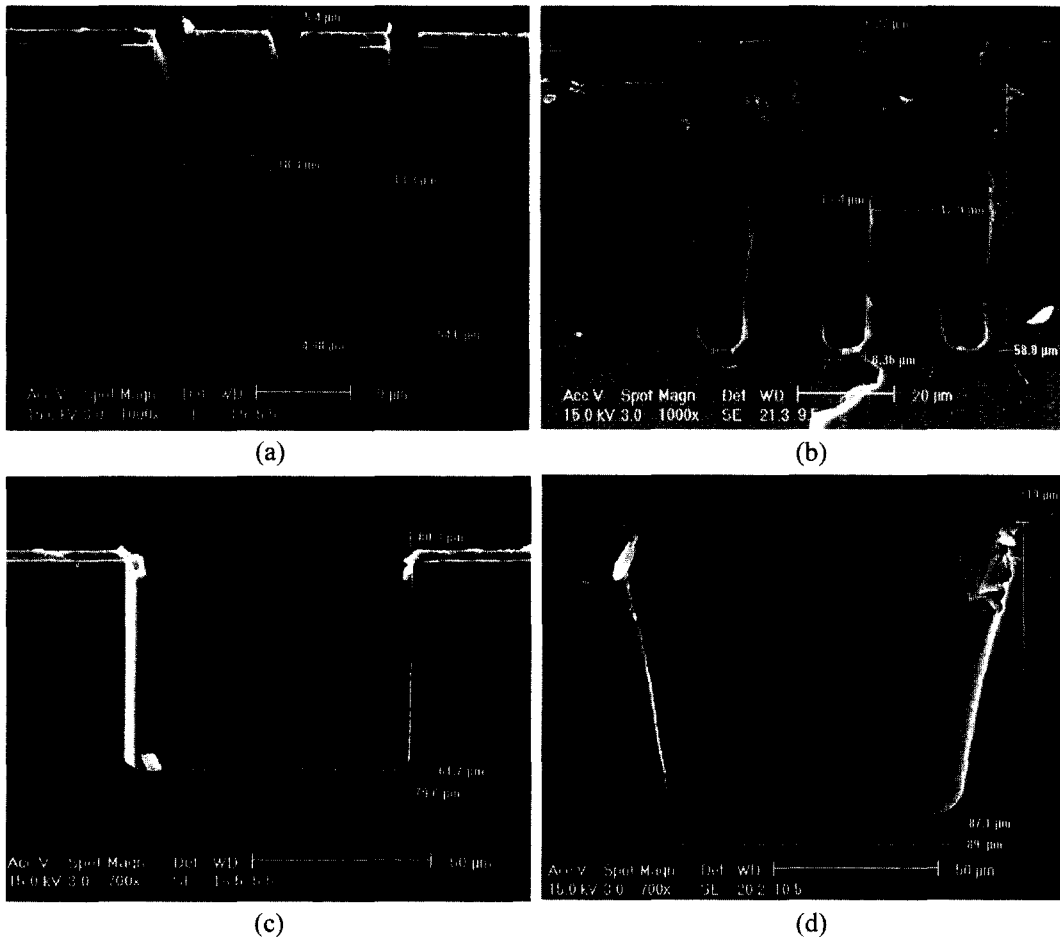


Fig. 3. Dependence of etch step time parameter. (a) etch step time 5 sec (6 μm) (b) etch step time 9 sec (6 μm) (c) etch step time 5 sec (80 μm) (d) etch step time 10 sec (80 μm).

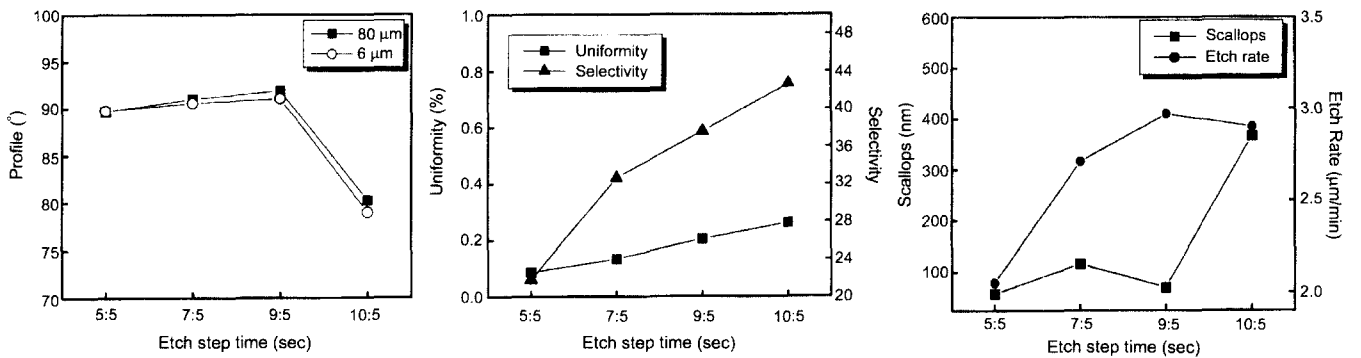


Fig. 4. Comparison of profile, uniformity, selectivity, etch rate and scallops as effect of etch step time.

증가하면서 profile의 현저한 감소가 나타나면서 entrant 경향을 나타내었다. 균일도는 식각 시간이 5초에서 0.08%로 매우 우수하게 나타나 식각이 매우 균일하게 되었으며 선택비는 식각 시간이 5초에서 28.10의 매우 작은 수치를 나타내었고 그 이후 계속 증가하였다. 식각 속도는 식각 시간이 증가할수록 계속 증가하는 경향을 나타냈

며 scallops는 9초 이상에서 over etch의 영향으로 현저하게 증가하였다.

### 3.3. SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량에 따른 식각 특성 비교

Fig. 5는 공정압력 25 mTorr, coil power 600 W, platen power 20 W, etch/passivation cycle time 8 sec/6 sec로 유

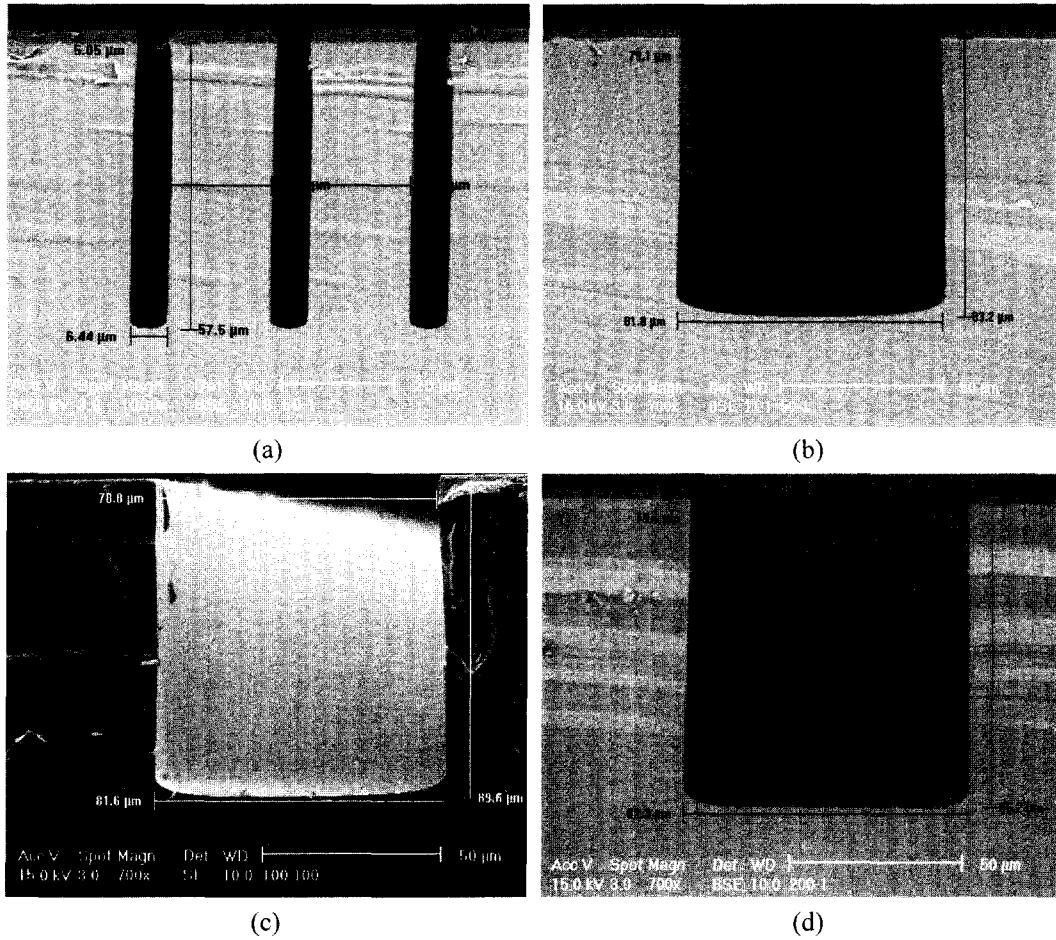


Fig. 5. Dependence of SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> flow rate parameter. (a) 50:50 flow rate (6 μm) (b) 50:50 flow rate (80 μm) (c) 100:100 flow rate (80 μm) (d) 200:160 flow rate (80 μm).

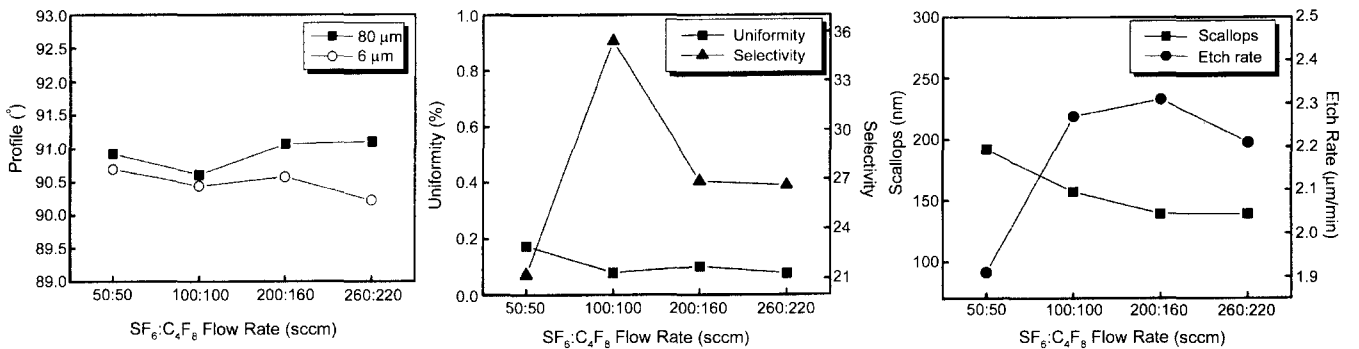


Fig. 6. Comparison of profile, uniformity, selectivity, etch rate and scallops as effect of SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> flow rate.

지하고 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량의 증가에 따른 변화를 SEM으로 관찰하였다. SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스 유량이 증가할수록 80 μm의 패턴에서는 가스 유량이 증가할수록 계속 식각 깊이가 증가하다가 100 : 100 sccm 이후로 식각된 깊이가 계속 감소하였으며, 6 μm 패턴에서는 50 : 50 sccm부터 증가하다가 260 : 220 sccm에서 감소하였다. Fig. 6은 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가

스유량의 증가에 따른 식각 특성을 나타내었다. 80 μm 패턴에서는 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량이 100 : 100 sccm일 때 90.607°로 가장 수직 profile에 근접하였으며 그 이후 가스유량이 증가할수록 profile이 증가하였다. 6 μm 패턴에서는 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량이 증가할수록 profile이 계속 감소하여 260 : 220 sccm에서 90.389°로 가장 수직 profile에 근접하였다.

그리고 가스유량에 관계없이 profile은 모두 re-entrant로 나타났다. 균일도는 100 : 100 sccm에서 0.078%로 가장 균일하게 나타났으나 그래프에서 알 수 있듯이 균일도는 가스유량에 크게 영향을 받지 않은 것으로 사료된다. 선택비는 100 : 100 sccm에서 35.41로 가장 크게 나타났으며 그 이후에는 26.86과 26.62로 감소하였다. 식각 속도는 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량 50 : 50 sccm에서 1.91 μm/min로 가장 낮게 나타났으며 200 : 160 sccm에서 2.31 μm/min로 가장 높게 나타났고 그 이후에는 계속 감소하였다. Scallops는 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량이 증가함에 따라 계속 감소하는 경향을 나타내었다.

#### 4. 결 론

Dry etching 후 profile에 관한 결과는 platen power가 80 μm 패턴에서는 30 W가, 6 μm 패턴에서는 50 W가 수직 profile을 나타내었으며, etch time/passivation cycle time은 5 sec/5 sec에서 수직 profile을 나타내었다. 또한 SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량 변화에서는 80 μm 패턴에서 100 : 100 sccm이 가장 적절하였으며, 6 μm 패턴에서 200 : 160 sccm이 가장 적절한 것으로 판단되어진다. 식각에 대한 균일도는 platen power 20 W, cycle time은 5 sec/5 sec에서 가장 우수하게 나타났으며, SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량의 차이에서는 균일도 변화의 경향이 발견되지 않았다. 선택비는 platen power 20 W, cycle time은 10 sec/5 sec에서, SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량 변화에 대해서는 100 : 100 sccm에서 최적의 조건으로 판단된다. 식각 속도는 platen power 30 W, cycle time의 9 sec/5 sec에서, SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량에서 200 : 160 sccm에서 가장 빠른 식각 속도를 나타내었다. Scallops는 platen power 50 W, cycle time의 9 sec/5 sec에서, SF<sub>6</sub>:C<sub>4</sub>F<sub>8</sub> 가스유량 200 : 160 sccm에서 가장 작게 나타났다.

#### REFERENCES

1. D. Zhang, J. Wan, G. Yan, T. Li, D. Tian and K. Deng, "High Aspect Ratio Si Etching Technique and Application," *Solid-State and Integrated Circuit Technology, 1998. Proceedings. 1998 5th International Conference on*, 91-93 (1998).
2. F. Laermer, A. Schilp, K. Funk, M. Offenbergl and R. B. GmbH, "Bosch Deep Silicon Etching : Improving Uniformity and Etch Rate for Advanced MEMS Applications," *MEMS99*, 339-49 (1999).
3. I. W. Rangelow, "Reactive Ion Etching for High Aspect Ratio Silicon Micromachining," *Surface and Coatings Tech.*, **97** 140-50 (1997).
4. F. Ayazi and K. Najafi, "High Aspect-ratio Combined Poly and Single-crystal Silicon (HARPSS) MEMS Technology," *J. of Microelec. Sys.*, **9** 288-94 (2000).
5. S. B. Lee, H. G. Park and S. H. Lee, "A Study on the High Selective Oxide Etching Using Inductively Coupled Plasma Source," *J. the Institute of Elect. Mater. Eng.*, **11** [9] 261-66 (1998).
6. P. Verdonck, R. D. Mansano and H. S. Maciel, "Deep Trench Etching in Silicon with Fluorine Containing Plasmas," *Applied Surface Sci.*, **100-101** 583-86 (1996).
7. H. Jansen, M. de Boer and M. Elwenspoex, "The Black Silicon Method," *J. Micromechanics*, **5** 115-20 (1995).
8. R. A. Gottscho, C. W. Jurgenson and D. J. Kitkavage, "Microscopic Uniformity in Plasma Etching," *J. Vac. Sci. Technol.*, **B 10** 2133-38 (1992).
9. M. H. Yun, C. B. Kim, K. S. Nahm, S. M. Lee, W. I. Park and K. B. Lee, "Study on the Etching Reaction of Silicon with Carbon Tetrafluoride in Electron Cyclotron Resonance Plasma Etching System," *J. Kor. Institute of Chem. Eng.*, **31** 255-62 (1993).
10. K. T. Sung and S. W. Pang, "Etching of Si with Cl<sub>2</sub> Using an Electron Cyclotron Resonance Source," *J. Vac. Sci. Tech.*, **A 11** 1206-10 (1993).
11. A. J. Christlieb, W. N. G. Hitchon and E. R. Keiter, "A Computational Investigation of The Effects of Varying Discharge Geometry for an Inductively Coupled Plasma," *Plasma Sci., IEEE Transactions on*, **28** 2214-31 (2000).
12. W. C. Tian, J. W. Weigold and S. W. Pang, "Comparison of Cl<sub>2</sub> and F-based Dry Etching for High Aspect Ratio Si Microstructures Etched with an Inductively Coupled Plasma," *J. Vac. Sci. Tech.*, **B18** 1890-96 (2000).
13. W. Ke, L. X. Chun, G. X. Xu, W. R. Mei and C. Z. Ya, "ICP Dry Etching for Deep Sub-micrometer Vertical Trench in Si and SiO<sub>2</sub>," *Solid-State and Integrated-Circuit Technology, 2001. Proceedings. 6th International Conference on*, **1** 456-59 (2001).