

<연구논문>

## CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 플라즈마에 의한 실리콘 표면 잔류막의 특성

권광호\* · 박형호\*\* · 이수민\* · 강성준\* · 권오준\*\* · 김보우\* · 성영권\*\*\*

\*한국전자통신연구소 단위공정개발실, \*\*한국전자통신연구소 물성분석연구실

\*\*\*고려대학교 전기공학과

(1991년 11월 20일 접수)

## The Characteristics of Residual Films on Silicon Surface CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> Reactive Ion Etching

K.-H. Kwon\*, H.-H. Park\*, S. M. Lee\*, S. J. Kang\*,  
O.-J. Kwon\*, B.W. Kim\* and Y.-K. Sung\*\*

\**Electronics and Telecommunications Research Institute*, \*\**Korea University*

(Received November 20, 1991)

**요 약**—실리콘을 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스 플라즈마를 이용하여 식각하면 실리콘위에 탄소, 불소 및 산소로 이루어진 잔류막이 형성된다. 이 잔류막을 XPS로 분석한 결과 탄소는 C-Si, C-Si, C-C/H, C-CF<sub>x</sub>(x≤3), C-F, C-F<sub>2</sub>, C-F<sub>3</sub> 결합을 하고 있으며, 불소는 F-Si, F-C 및 F-O 결합으로 이루어져 있음을 알았다. 한편 산소는 O-Si 및 O-F 결합으로, 실리콘은 Si-Si, Si-C 및 Si-O 결합상태를 나타낸다. 잔류막의 수직분포 연구를 통하여 Si-O 및 Si-C 결합이 탄소와 불소의 결합층 아래에 존재하고, 잔류막의 표면부에 F-O 결합이 분포함을 알았다. 또한 전식식각 변수가 잔류막 형성에 미치는 영향이 조사되었으며 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스 유량비, RF power 및 압력 등이 잔류막의 두께, 조성비 및 잔류막의 결합상태에 영향을 미침을 알 수 있었다.

**Abstract**—Si surfaces exposed to CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> gas plasmas in reactive ion etching (RIE) have been characterized by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> gas plasma exposure of Si surface leads to the deposition of residual film containing carbon and fluorine. The narrow scan spectra of C 1s show various bonding states of carbon as C-Si, C-F/H, C-CF<sub>x</sub>(x≤3), C-F, C-F<sub>2</sub>, and C-F<sub>3</sub>. The chemical bonding states of fluorine are described with F-Si, F-C, and F-O. And the oxygen and silicon are also detected. The effects of parameters for reactive ion etching as CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> gas ratio, RF power, and pressure are investigated.

### 1. 서 론

미세패턴을 형성하기 위한 공정으로, 실리콘위에 형성된 실리콘 산화막을 탄소(C)와 불소(F)를 함유한 가스 플라즈마를 이용하여 반응성 이온 전식식각(reactive ion etching)하는 방법은 반도체 소자 제조시 널리 이용되고 있다[1]. 실리콘 식각시 자세한 식각 반응기구는 규명되지 않은 상태이나, 일반적으로

식각반응은 잔류막의 형성과 실리콘의 식각이 동시에 일어난다고 알려져 있다[2]. 잔류막은 식각가스 중에 존재하는 탄소와 불소에 의해 형성되는 유기물질로서, 만약 실리콘 산화막을 탄소와 불소의 화합물을 이용하여 식각하는 경우, 산화막에 존재하는 산소가 플라즈마내에서 생성되는 탄소 및 불소와 반응하여 휘발성 물질인 CO, CO<sub>2</sub> 및 COF<sub>2</sub> 등을 형성하여 제거되므로 실리콘을 식각하는 경우와 비교하여 상대적

으로 얇은 잔류막이 형성된다[3]. 따라서 실리콘 산화막의 식각속도는 비교적 높지만 실리콘의 식각속도는 크게 감소하게 되어 높은 실리콘 산화막/실리콘 식각선택비를 얻을 수 있다. 그러나 식각후 잔류막은 수 nm의 두께로 실리콘 표면에 그대로 남아 있게 되며, 식각후 잔류막의 제거가 용이하지 않아 소자의 특성에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[4].

이러한 관점에서 최근 건식식각후 실리콘 표면에 형성되는 표면 잔류막의 특성분석과 그의 제거방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[2, 5, 6].

본 연구에서는 반응성 이온 건식식각시, 실리콘 표면에 형성되는 잔류막의 화학적 결합상태, 식각가스의 유량비, RF power 및 압력에 따른 특성변화를 조사하였다.

## 2. 실험방법

본 실험에서는 P형, (100)면, 0.85~1.15Ω cm인 5인치 실리콘 웨이퍼위에 저온산화막(low temperature oxide)을 증착시킨 후 반응성 이온 건식식각을 하였다. 저온산화막은 BTU Furnace System으로 420°C에서 SiH<sub>4</sub> 및 O<sub>2</sub> 가스를 사용하여 약 600 nm 두께의 막을 증착하였으며, MPV-SP 두께 측정장비를 이용하여 두께를 측정하였다. 실리콘 기판위에 증착된 저온산화막을 RF power 480 watts, 압력 600 mTorr, 식각가스 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>의 유량비가 50/25 sccm인 조건에서 식각한 후, overetch를 위하여 다시 RF power 500 W, 압력 700 mTorr 및 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>=80/20 sccm인 조건을 기준으로 하여 식각 파라미터를 변화시켰다. CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 유량비의 변화가 잔류막에 미치는 영향을 조사하기 위해 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 유량비를 90/10, 80/20, 73/27, 67/33 sccm으로 변화시켰다. 한편 식각 압력은 500 mTorr에서 800 mTorr까지 변화였으며, RF power 변화 범위는 300 watts에서 600 watts였다. 또한 시료 조건이 동일하도록 하기 위하여 동일한 두께의 저온산화막을 같은 시간동안 식각하였다. 식각챔버의 전극간격은 6.35 mm였으며, 하부전극의 온도는 20°C였다. 한편 overetch 시간은 1분 20초로 고정하였다.

시료분석을 위한 XPS(X-ray Photoelectron Spectroscopy) 분석은 VG Scientific의 ESCALAB 200-R System을 사용하여 이루어졌으며, X-ray source로는 250 watts의 Mg Kα(1253.6 eV)가 이용되었다. Sur-

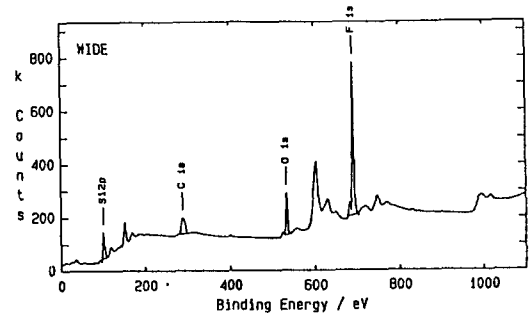


Fig. 1. XPS survey spectrum (CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>=80/20 sccm, RF power=500 watts, pressure=700 mTorr, overetch time=1 min 20 sec).

vey spectra는 100 eV의 pass energy를 사용하여 얻어졌으며 검출되는 원소에 대한 narrow scan 분석에는 20 eV 및 50 eV의 pass energy가 사용되었다. 잔류막 원소의 상대적인 분포를 조사하기 위하여 angle-resolved 분석을 take-off angle 5°에서 90°까지의 구간에서 행하였으며 원소의 화학적 결합상태 분석은 Gaussian과 Lorentzian functions를 이용한 least square fitting technique으로 행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스에 의해 형성되는 표면 잔류막의 구성

CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스 플라즈마를 이용한 건식 식각시 형성되는 표면 잔류막의 특성을 조사하기 위해, 시료는 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>=80/20 sccm, RF power=500 watts 및 압력=700 mTorr에서 1분 20초 동안 overetch되었다. XPS 분석은 survey scan의 경우 100 eV, narrow scan의 경우 50 eV의 pass energy에서 수행되었다.

먼저 RIE 건식식각에 의해 실리콘 기판위에 형성된 표면 잔류막에 존재하는 성분을 조사하기 위한 XPS survey spectra를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 XPS 분석에 의해 실리콘(Si), 탄소(C), 산소(O) 및 불소(F)가 검출되었다. 일반적으로 불소를 함유한 가스를 이용하여 건식식각을 수행하면 탄소와 불소가 주종을 이루는 잔류막이 형성되며, 이는 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스에 함유되어 있는 탄소와 불소가 플라즈마내에서 이온 혹은 래디컬 등으로 분해되어 실리콘 식각에 기여함과 동시에 잔류막층을 형성하여

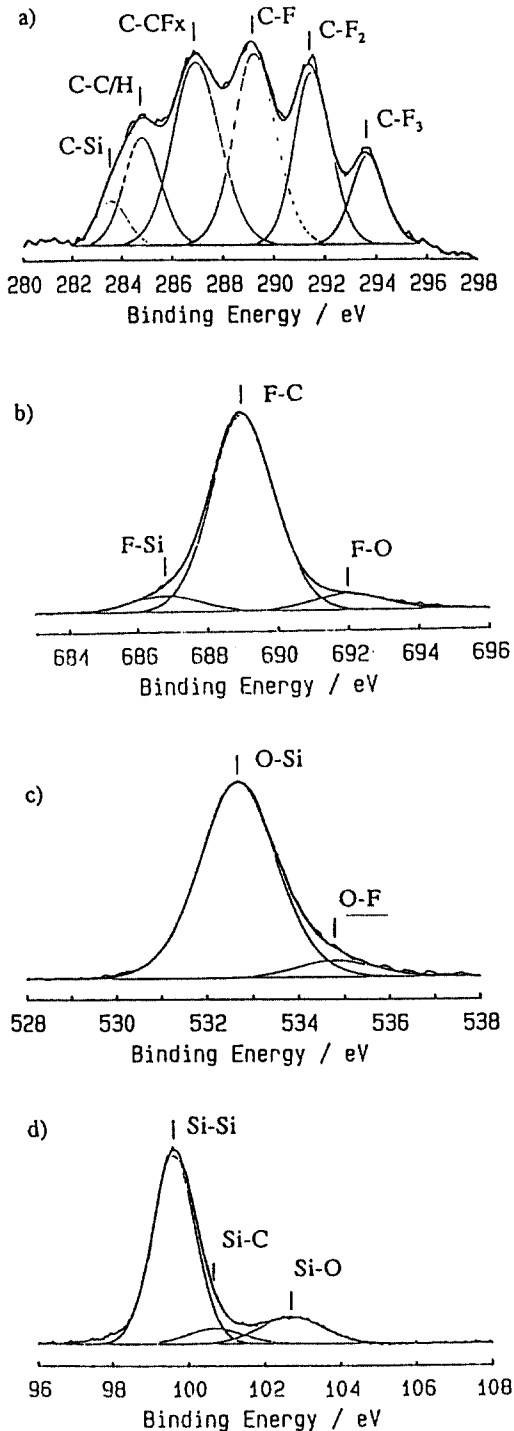


Fig. 2. Narrow scan spectra of elements within residual films and curve fitting; a) C 1s, b) F 1s, c) O 1s, and d) Si 2p.

산화막과의 선택비를 유지하는 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 한편, 산소는 잔류막이 대기에 노출됨으로 인하여 대기 중의 산소가 잔류막내로 침투하여 검출되는 것으로 보고되어 있으며[7], 기판 실리콘 및 잔류막내에 다른 원소와 결합되어 있는 실리콘이 검출되었다.

Fig. 2는 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스를 이용하여 실리콘을 식각시 형성되는 잔류막내에 존재하는 각 원소의 화학적 결합상태를 조사하기 위해 피크들이 중첩되어 있는 narrow scan 스펙트럼을 curve fitting하였으며, XPS의 take-off angle은 90°였다.

Table 1에 Fig. 2의 curve fitting 결과로 나타난 각 원소의 화학적 결합상태, binding energy, FWHM(full width at half maximum) 및 area %(결합상태비)를 제시하였다. Table 1에 제시된 값(binding energy와 FWHM)을 이용하여 이후 공정변수의 변화 등과 관련하여 관찰되는 화학적 결합상태의 변화를 분석하였다.

Fig. 2의 (a)는 C 1s narrow scan 스펙트럼을 curve fitting한 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 실리콘 잔류막에 포함된 탄소는 peak center가 283.6, 284.8, 287.0, 289.3, 291.5 및 293.7 eV에 위치한 6가지 이상의 화학결합으로 분해가 가능하며, 이는 C-Si, C-C

Table 1. Decomposition of the C 1s, Si 2p, O 1s, and F 1s core level distributions

	화학적 상태	피크 binding energy (eV)	FWHM (eV)	% of area
C 1s	C-Si	283.6	1.48	4
	C-C/H	284.8	1.76	13
	C-CF <sub>x</sub>	287.0	2.22	27
	C-F	289.3	2.00	26
	C-F <sub>2</sub>	291.5	1.71	20
	C-F <sub>3</sub>	293.7	1.61	10
F 1s	F-si	686.8	2.39	8
	F-C	689.0	2.16	84
	F-O	692.0	2.50	8
O 1s	O-Si	532.7	2.02	92
	O-F	534.8	2.00	8
Si 2p	Si-Si	99.4	1.37	76
	Si-C	100.4	1.76	8
	Si-O	102.4	2.02	16

혹은 C-H, C-CF<sub>x</sub>(x≤3) C-F<sub>1</sub>, C-F<sub>2</sub> 및 C-F<sub>3</sub> 결합을 나타낸다[5]. 또한 take-off angle이 15°인 경우에 각 화학적 결합의 area %는 각각 2, 6, 33, 27, 19 및 12%였다. 이를 Table 1과 비교해 보면, C-CF<sub>x</sub> 및 C-F<sub>y</sub>(y=1, 2, 3) 피크의 상대적 세기의 변화는 관찰되지 않으나, take-off angle이 큰 경우 C-Si 및 C-C/H 피크의 상대적 세기가 증가함을 알 수 있다. 이는 C-CF<sub>x</sub> 및 C-F, 잔류막의 조성은 잔류막내에서 거의 일정하게 분포하며, C-Si 및 C-C/H 결합은 잔류막의 하부 즉 잔류막과 Si 기판 계면에 존재함을 의미한다. 이상의 탄소결합은 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스가 플라즈마내에서 이온과 래디컬로 분해되어 전계에 의한 drift 및 확산에 의해 식각 표면으로 이동되며, 실리콘 식각에 기여하는 한편 플라즈마에 노출된 부분에 잔류막을 형성한 것으로 판단된다.

Fig. 2의 (b)는 잔류막의 또 다른 주성분인 불소의 결합상태를 조사하기 위한 F 1s narrow scan 스펙트럼이다. Peak center가 689.0 eV에 위치하는 피크가 뚜렷이 검출되었으며, 686.8 및 692.0 eV 근처에 또 다른 결합들이 존재함을 알 수 있다. Table 1에 나타낸 불소 결합의 area %로부터 대부분의 불소는 689.0 eV 위치에서 관찰되는 결합에너지에 갖는 상태로 존재함을 알 수 있다. Peak center가 689.0 eV에 위치하는 결합은 탄소와의 결합으로 Fig. 2의 (a)에서 보여진 C-F<sub>y</sub>(y=1, 2, 3) 결합에 해당한다. 한편 결합에너지 692.0 eV 위치의 피크는 탄소보다 큰 전기음성도를 갖는 원소와의 공유성 결합에 기인한 것으로 F-O 결합에 해당되며, 686.8 eV에 위치하는 결합은 F-Si 결합에 해당한다[4]. F-Si 결합은 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스를 이용하여 실리콘을 식각하는 경우, 플라즈마에 노출된 표면 실리콘은 불소와 반응하여 SiF<sub>4</sub>의 형태로 표면에서 이탈되어 식각이 진행되며, 이 과정에서 형성되는 결합으로 판단된다. 한편 Fig. 3은 RF power 500 watts, 압력 700 mTorr 및 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>=80/20 sccm에서 실리콘을 overetch한 시료를 O<sub>2</sub> 가스만을 사용하여 형성한 플라즈마 내에서 40분 동안 처리하여 얻은 F 1s 스펙트럼이다. 그림에 나타난 바와 같이 peak center가 692.0 eV인 피크가 Fig. 2의 (b)와 비교하여 크게 증가하였다. 따라서 이 결합은 잔류막 내에 존재하는 불소가 산소 플라즈마내의 산소 이온이나 래디컬 등과 반응하여 형성한 F-O 결합임을 알 수 있다.

Fig. 2의 (c)는 산소의 화학적 결합상태를 보여주는

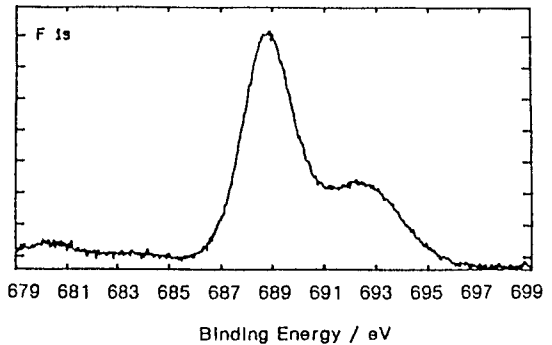


Fig. 3. F 1s narrow scan spectrum after O<sub>2</sub> plasma treatments of residual films.

O 1s narrow scan 스펙트럼이다. Curve fitting의 결과로부터 산소는 peak center가 532.7 및 534.8 eV에 위치하는 2가지 결합상태로 분해가 가능하다. 결합에너지 532.7 eV인 피크는 O-Si 결합으로, 이는 대부분의 산소는 Si와 결합하고 있음을 보여준다. 결합에너지 534.8 eV의 피크는 산소와 전기음성도가 큰 원소와의 공유성 결합에 기인하는 것으로 O-F 결합에 해당한다.

Fig. 2의 (d)는 Si 2p narrow scan 스펙트럼이다. 그림에 나타난 바와 같이 Si는 peak center가 99.4, 100.4 및 102.4 eV에 위치하는 3가지 이상의 결합을 하고 있음을 알 수 있다. 이는 기판 실리콘에서 검출되는 Si-Si 결합 및 잔류막내에 존재하는 Si-C, Si-O 결합에 해당하며, F 1s peak에서 검출된 Si와 F의 결합은 거의 Si-O 결합과 중첩되어 두 결합을 뚜렷하게 분리하기는 어렵다. Si의 화학적 결합은 Si-Si 결합이 대부분을 차지하며, 잔류막에 존재하는 실리콘은 탄소보다 산소와 더 많이 결합하고 있음을 알 수 있다. 한편 Si-O 결합은 실리콘 기판이 대기에 노출됨에 따라 형성되는 자연 산화막에서 검출되는 Si-O 결합과는 다른 결합에너지에서 검출되었으며, 이는 Si-O 결합이 SiO<sub>x</sub>(x<2)로 존재하는 결합임을 의미한다. 이는 Auger 분석결과와 일치한다[8]. 한편 실리콘 웨이퍼를 세척 후 분석한 결과 자연산화막에 존재하는 Si-O 결합은 103.7 eV 근처에서 검출되었다.

Fig. 4는 잔류막내에 존재하는 실리콘 결합의 상대적인 분포를 조사하기 위하여 take-off angle에 다른 각 실리콘 결합의 area %를 나타낸다. Take-off angle 변화에 따른 각 원소의 atomic % 변화를 관찰하기 위해서는 X-선 조사에 의한 표면상태의 변화를 고려

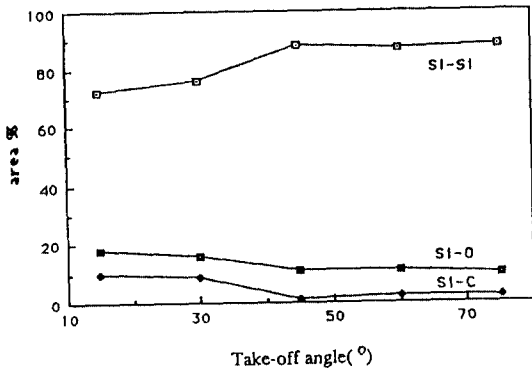


Fig. 4. Area % variation of Si 2p binding states by angle resolved XPS (CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>=80/20 sccm, RF power=500 watts, pressure=700 mTorr, overetch time=1 min 20 sec).

하여야 한다. 이를 위해 시료에 40분 동안 X-선을 조사하여 조사 전·후의 분석결과를 비교하였으나 차이가 거의 없음을 알 수 있었다. Take-off angle이 증가함에 따라 Si-Si 결합은 증가하여 일정치에 도달하며, Si-O 및 Si-C 결합은 감소하여 take-off angle이 45° 이상에서 거의 일정한 값을 보인다. 이는 take-off angle이 증가함에 따라 기판 실리콘에 존재하는 Si-Si 결합이 더 많이 검출되기 때문이다. Take-off angle 증가에 따른 각 실리콘 결합이 area % 변화를 살펴 보면 Si-O 결합보다 Si-C 결합의 area %가 더 급격히 감소함을 알 수 있다. 이는 Si-C 결합이 Si-O 결합위에 존재함을 의미한다.

Fig. 5는 각 원소의 상대적인 분포를 조사하기 위해, take-off angle 변화에 따른 각 원소의 atomic % 변화를 나타낸다. Take-off angle이 증가함에 따라 Si 2p atomic %가 가장 크게 증가하고, O 1s는 약간 증가함을 알 수 있다. 또한 C 1s 및 F 1s atomic %는 take-off angle이 증가함에 따라 점차 감소하나, F 1s의 감소율이 C 1s 감소율보다 더 크다. 이러한 사실은 Si가 가장 아래에 위치하며, 그 위에 O가 존재함을 나타낸다. 한편 C와 F는 섞여있으나 상대적으로 F가 잔류막의 상부에 더 많이 존재함을 알 수 있다. 이는 take-off angle 변화에 따른 F 1s 피크 변화에서 take-off angle이 증가할수록 F-O 결합이 감소하는 결과로부터 알 수 있듯이 불소가 잔류막 상부에서 산소와 결합되어 분포하기 때문으로 여겨진다. 이상의 원소 및 각 결합상태의 분포결과로부터 잔류

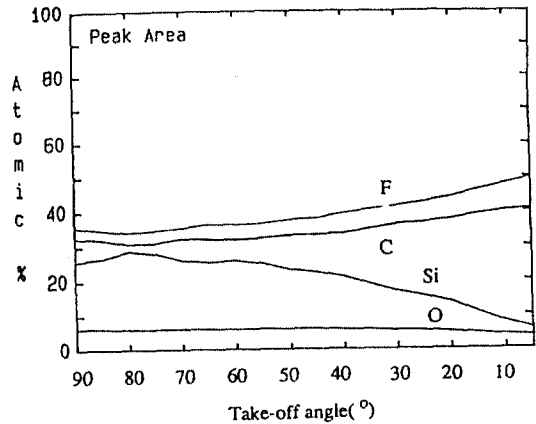


Fig. 5. Atomic % variation of each elements by angle resolved XPS (CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>=80/20 sccm, RF power=500 watts, pressure=700 mTorr, overetch time=1 min 20 sec).

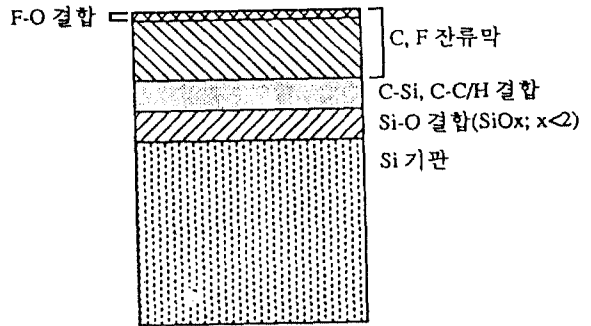


Fig. 6. Schematic diagram of residual films.

막의 구조를 Fig. 6에 도식적으로 나타내었다. CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스를 이용하여 실리콘을 식각하여 실리콘위에 형성된 잔류막은 실리콘 기판위에 Si-O 결합, Si-C 결합, C와 F를 포함하는 막으로 구성되어 있다. 한편 F와 결합되지 않은 C가 잔류막의 하부에 존재하며, 이는 Si-C 및 C-C/H 결합으로 판단된다. 또한 탄소와 불소로 구성된 잔류막의 상부에 F-O 결합이 주로 분포하고 있다.

### 3.2. 식각가스 유량비 변화에 따른 표면 잔류막의 상태변화

Fig. 7은 가스 유량비를 달리하여 식각한 경우 산소의 atomic %, 잔류막과 기판의 조성비([C+F]/[Si]) 및 [C]/[C+F] 변화율을 take-off angle 90°에서 측정한 결과이다. CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>=67/33 sccm인 플

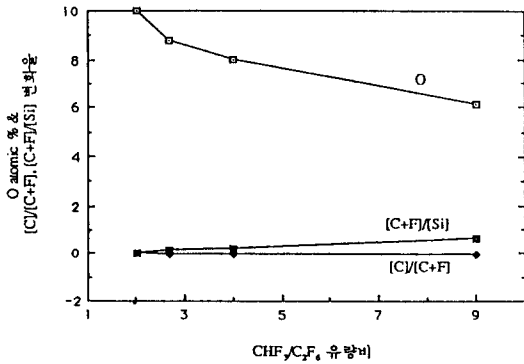


Fig. 7. O atomic % and [C+F]/[Si], [C]/[C+F] variations as a function of CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> ratio.

라즈마 조건에서 형성된 잔류막을 기준으로 하여 [C]/[C+F] 및 [C+F]/[Si]의 변화율(변화율=[X<sub>1</sub>-X<sub>0</sub>]/X<sub>0</sub>; X<sub>0</sub>: CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>가 67/33 sccm인 플라즈마 조건에서 형성된 잔류막에서의 원소비, X<sub>1</sub>: 각 유량비에 따른 플라즈마 조건에서 형성된 잔류막에서의 원소비)을 나타내었다. [C+F]/[Si]는 일정 take-off angle에서 상대적 잔류막의 두께 변화를 보여주며, [C]/[C+F] 값의 변화로부터 잔류막의 조성변화를 알 수 있다. Fig. 7은 take-off angle에서 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 유량비가 증가함에 따라 [C+F]/[Si] 비는 증가함을 보여준다. 이는 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 비가 증가될수록 잔류막의 두께가 증가함을 의미하며, 이 결과는 Oehrlein[2] 등의 실험결과와 일치한다. 잔류막의 두께는 [C]/[F] 비에 의존하며, [C]/[F]비가 클수록 잔류막은 두껍게 형성된다. CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스를 이용하는 경우, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>의 경우 [C]/[F]는 1/3이며, CHF<sub>3</sub>의 경우 CHF<sub>3</sub>에서 분해되어 생성되는 H와 F가 결합하여 HF로 상실됨에 따라 [C]/[F]비가 증가한다[9]. 그 결과 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 비가 증가할수록 잔류막의 두께는 증가한다.

CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 유량비가 변함에 따라 [C]/[C+F]값의 변화는 거의 없음을 알 수 있는데, 이는 식각 가스의 유량비에 따른 막 조성의 변화가 거의 없음을 의미한다. 따라서 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스를 이용하여 실리콘을 식각하는 경우 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 유량비가 변함에 따라 실리콘 표면에 형성되는 잔류막의 조성은 변화가 거의 없고, 단지 그 두께만이 변화하는 것으로 판단된다. 한편 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 유량비가 증가함에 따라 실리콘의 식각속도는 감소하였는데 이는 잔류막의 두께 증가에 기인하는 것으로 여겨진다.

Table 2. XPS quantitative results with RF power

RF power 원소	600 watts	500 watts	400 watts	300 watts
Si atomic %	23.313	24.388	22.438	0
C atomic %	30.823	29.449	29.164	44.203
O atomic %	7.908	6.421	5.607	0.384
F atomic %	37.956	39.742	42.791	55.413
[C+F]/[Si]	2.96	2.837	3.2	-
[C]/[C+F]	0.448	0.4256	0.4053	-

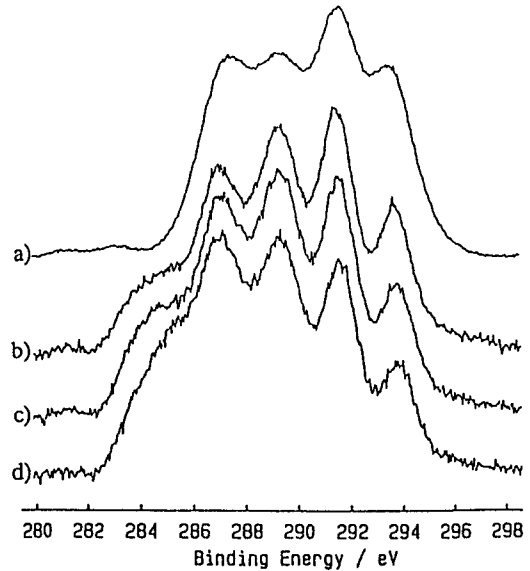


Fig. 8. C 1s narrow scan spectrum changes with RF power; a) 300 watts, b) 400 watts, c) 500 watts, and d) 600 watts.

### 3.3. 실리콘 식각에 미치는 RF power의 영향

Table 2는 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>=80/20 sccm 및 압력=700 mTorr 조건에서 RF power 변화에 따른 잔류막의 atomic % 변화를 도표로 나타내었다. Table 2는 [C+F]/[Si]는 RF power가 감소함에 따라 증가하여, power가 300 watts에서는 기판 실리콘이 검출되지 않음을 보여준다. 이는 RF power 400 watts 이하에서 잔류막의 두께가 급격히 증가함을 의미한다. RF power 증가에 따른 잔류막의 두께 감소는 power 증가에 따라 plasma-induced self bias(Vdc)가 증가하게 되고, 이로 인해 잔류막에 sputtering 효과를 초래하여 잔류막의 두께가 감소하는 것으로 설명되어 진다[10]. 따라서 RF power 증가에 따른 식각속도 증가는 잔

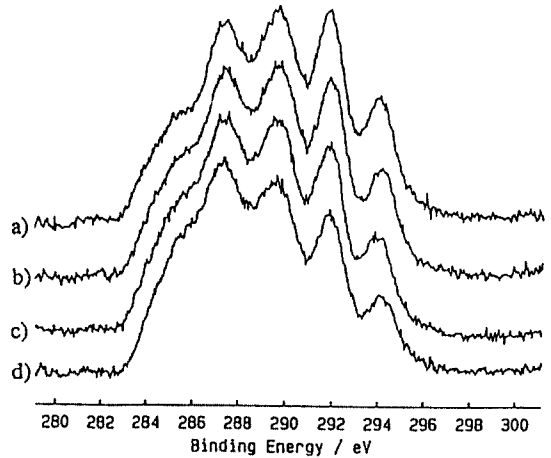
**Table 3.** [C+F]/[Si], [C]/[C+F], and etchrate variations with pressure \*단위 : nm/min

원소	500 mTorr	600 mTorr	700 mTorr	800 mTorr
[C+F]/[Si]	2.564	2.826	3.013	2.935
[C]/[C+F]	0.477	0.461	0.451	0.452
식각속도*	16.5	291.3	207.4	143.6

류막의 두께 감소와 이온 충돌에너지의 증대에 기인하는 것으로 판단된다. 한편 [C]/[C+F] 값은 다소 감소하는 경향을 보이고 있는데 이는 잔류막의 조성이 변하고 있음을 의미한다. 잔류막의 조성변화를 조사하기 위해 C 1s narrow scan을 실시하여 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다. RF power가 600에서 300 watts로 감소함에 따라 C-Si 및 C-C/H 결합이 감소하고, C-F<sub>y</sub>(y=1, 2, 3) 결합이 상대적으로 증가하는 현상을 보이고 있다. 특히 300 watts에서는 C-Si 및 C-C/H 결합이 거의 나타나지 않았다. 따라서 RF power 감소에 따라 [C]/[C+F] 값의 감소는 C-Si 및 C-C/H 결합의 감소와 C-F<sub>y</sub>(y=1, 2, 3) 결합의 증가 때문임을 알 수 있다. 이러한 결합상태의 변화는 RF power 변화에 따른 이온 충격에너지 및 플라즈마 식각가스 분해기구에 기인하는 것으로 판단된다.

**3.4. 실리콘 식각에 미치는 식각압력의 영향**

전식식각시 압력변화에 따른 잔류막의 특성을 조사하기 위하여 XPS 분석을 하였다. Table 3은 압력이 500, 600, 700, 800 mTorr 일때 각각의 잔류막내에 존재하는 구성원소의 [C+F]/[Si], [C]/[C+F] 및 식각속도를 나타내었다. 표에 나타난 바와 같이 압력이 증가할수록 [C+F]/[Si]가 증가하는 것은 압력증가에 따라 잔류막이 두껍게 형성되는 것으로 이는 다음과 같이 설명된다[11]. 압력의 증가는 먼저 플라즈마내에서 이온의 농도를 증가시키고, 이는 sheath potential의 감소를 초래하여 이온 충돌에너지는 저해된다. 이때 표면에 도달하는 이온이 표면에서 잔류막을 제거하는데 필요한 sputtering threshold보다 적은 에너지를 가지면 잔류막은 증가한다. 한편 식각압력이 증가함에 따라 식각속도는 증가하는 경향을 보이나 600 mTorr 이상에서 다시 감소하였다. 압력이 증가함에 따라 식각속도가 증가하는 영역에서는 플



**Fig. 9.** C 1s narrow scan spectrum changes with pressure; a) 800 mTorr, b) 700 mTorr, c) 600 mTorr, and d) 500 mTorr.

라즈마 내에서 압력이 증가함에 따라 전자와 가스분자 및 이온과 중성입자 사이의 충돌이 증가하여 이온의 밀도가 증가하므로 식각속도는 증가한다[11]. 그러나 600 mTorr 이상의 영역에서는, 압력이 증가하면 Vdc 감소 및 잔류막의 두께증가로 인하여 식각속도가 감소하는 것으로 판단된다. Table 3에 나타난 [C]/[C+F] 변화의 원인을 조사하기 위하여 C 1s narrow scan을 실시하였다. Fig. 9는 압력 변화에 따른 C 1s narrow scan 스펙트럼의 변화를 나타내었다. 그럼으로부터 압력이 증가함에 따라 C-F<sub>y</sub>(y=1, 2, 3) 결합의 피크들이 상대적으로 커지고 있음을 볼 수 있다. 따라서 [C]/[C+F]비의 감소는 C-F<sub>y</sub>(y=1, 2, 3) 결합의 증가에 기인한다.

**4. 결 론**

실리콘을 CHF<sub>3</sub>/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 가스를 사용하여 식각하는 경우 실리콘위에 탄소, 불소 및 산소를 주성분으로 하는 잔류막이 형성되었다. 탄소는 C-Si, C-C/H, C-CF<sub>x</sub>(x≤3), C-F, C-F<sub>2</sub>, C-F<sub>3</sub> 결합을 하고 있으며, 불소는 F-Si, F-C 및 F-O 결합을 이루고 있음을 알 수 있었다. 한편 잔류막이 대기에 노출됨에 따라 대기 중의 산소가 침투한 것으로 알려져 있는 산소는 O-Si 및 O-F 결합을 이루고 있고, 기판 실리콘에 의한 실리콘은 Si-Si, Si-C, 및 Si-O 결합을 이루고 있다.

각 원소의 상대적인 분포를 조사하기 위하여 take-off angle을 변화시켜 잔류막을 분석한 결과, Si-O 및 Si-C 결합이 탄소와 불소결합층 아래에 존재하며 잔류막의 표면부에 F-O결합이 위치함을 보여주었다.

$\text{CHF}_3/\text{C}_2\text{F}_6$  가스 유량비 변화는  $\text{CHF}_3$ 량이 증가할수록 잔류막의 두께는 증가하였으나 잔류막의 조성비 ( $[\text{C}]/[\text{C}+\text{F}]$ )에는 거의 영향을 미치지 않았다. RF power 변화는 잔류막의 두께에 영향을 미치며 RF power가 감소할수록 잔류막의 두께는 증가하였다. 또한 RF power 변화는 잔류막의 조성비 ( $[\text{C}]/[\text{C}+\text{F}]$ )에 영향을 미치고, RF power가 감소할수록 C-Si 및 C-C/H 결합이 감소하고, C-F<sub>y</sub>(y=1, 2, 3) 결합은 증가하였다. 압력이 증가함에 따라 C-F, C-F<sub>2</sub> 및 C-F<sub>3</sub> 결합의 증가로 인하여 잔류막의 조성비 ( $[\text{C}]/[\text{C}+\text{F}]$ )가 변화하였으며 잔류막의 두께는 증가하였다.

잔류막의 두께 변화는 식각속도에 영향을 미치며, 잔류막의 두께가 두꺼울수록 식각속도는 저하되었다.

### 참고문헌

1. J. W. Coburn, "Plasma Etching and Reactive Ion Etching", AVS Monograph Series (1982).
2. G. S. Oehrlein and Y. H. Lee, *J. Vac. Sci. Technol.*, A5(4), 1585 (1987).
3. J. W. Coburn and E. Kay, *IBM J. Res. Develop.*, 23(1), 33 (1979).
4. C. Cardinaud, A. Rhounna, G. Turban and B. Grolleau, *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 135, No. 6, 1472 (1988).
5. J. P. Simko and G. S. Oehrlein, *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 137, No. 8, 2634 (1990).
6. X. C. Mu, S. J. Fonash, G. S. Oehrlein, S. N. Chakravati, C. Parks and J. Keller, *J. Appl. Phys.*, 58, 2958 (1986).
7. G. S. Oehrlein, R. M. Tromp, J. C. Tsang, Y. H. Lee and E. J. Petrillo, *J. Electrochem. Soc.* Vol. 132, No. 6, 1441 (1985).
8. 권광호 *et al.* 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, Vol. 14, No. 1, 317 (1991).
9. R. A. H. Heinecke, *Solid State Technol.*, 18, 1146 (1975).
10. J. W. Coburn and H. F. Winters, *J. Vac. Sci. Tech.*, Vol. 16, No. 2, 391 (1979).
11. R.A. Morgan, "Plasma Etching in Semiconductor Fabrication", ELSEVIER Press, New York (1985).

1. J. W. Coburn, "Plasma Etching and Reactive Ion