

감광제 건식제거공정의 최적화

논문
9-9-6

Optimization of Down Stream Plasma Ashing Process

박 세 군*, 이 종 근*
(Se-Geun Park, Jong-Keun Lee)

Abstract

A downstream oxygen plasma is generated by capacitively coupled RF power and applied to photoresist stripping. Stripping rate (ashing rate) is measured in terms of RF power, chamber pressure, oxygen flow rate and temperature. Ashing reaction is thermally activated and depends on oxygen radical density. The ashing process is optimized to have the high ashing rate, good uniformity and minimal plasma damage using a statistical method.

Key Words (중요용어) : photoresist (감광제), ashing (애싱), optimization (최적화), downstream asher (다운 스트림 애쉬)

1. 서 론

반도체 제조의 사진식각공정에서 사용되고있는 유기물의 감광제 (photoresist)는 패턴 형성 후에 결국은 모두 제거되어야하며 가장 많이 반복되는 중요한 공정의 하나이다. $H_2SO_4 + H_2O_2$ 의 화학 용액을 사용하여 제거하던 방법은, 최근에는 ashing이라고 불리는 오존이나 산소 플라즈마를 이용한 건식식각법을 채택하고 있다.^{1,2,3,4,5} 웨이퍼의 크기가 8 inch 이상으로 커져감에 따라 batch 방식의 처리에서 단일웨이퍼 처리방식으로 바뀌어가고 있으며, 또한 이온에 의한 손상을 최소화하기 위해 플라즈마 발생지역으로부터 일정한 거리를 유지한 곳에 웨이퍼를 위치시켜놓는 down stream 방식이 채택되고 있다. Down stream 방식은 ashing 반응을 이온이 아닌 라디칼에 의존하고자 하는 기술인 것이다.^{1,4} 본 실험에서는 13.56 MHz의 RF 전력전원을 이용한 8 inch 웨이퍼용 down stream 방식의 asher에서 감광제 식각율과 균일도를 극대화하면서 플라즈마 damage(손상)를 유발하지 않는 공정조건을 찾고자하며, 실험의 효율성과 최적화결론의 robustness를 높이기위해 통계적실험계획법을 이용하였다.⁶

2. 시료 제작 및 측정

사용한 asher는 13.56 MHz의 RF 전력을 임피던스 match network을 통하여 quartz chamber에 capacitively coupled 되어 있는 8인치 웨이퍼용이며, 히터가 장착된 단일웨이퍼 stage를 갖춘 전자동 장비로써 그림 1에 chamber의 개략적 구조를 나타냈다. 8 inch 웨이퍼에 AZ 1350J 감광제를 2번 회전 도포하고 pre-bake를 120 C에서 각각 20분씩 수행하여 3.0 um의 두께를 얻었다. 감광제 식각율은 NANO Spec을 이용하여 감광제 두께를 ashing 전후에 각각 측정하여 구하였다.

플라즈마에 의한 손상중에서 MOS 트랜지스터의 전기적 특성에 가장 영향을 주는 산화막과 실리콘 기판 사이의 계면의 트랩밀도를 관찰하기위하여 C-V 측정을 하였다. N-type, 3.8 ohm-cm (100) Si 웨이퍼를 세정한 후에 15 nm 두께의 산화막을 950 C 에서 건식열산화로 성장시킨 후, 수소가 포함된 forming 기체 분위기에서 450 C, 30 분간 어닐링하였다. 1.2 um 두께의 감광제를 도포하고 여러 가지 조건에서 ashing 공정을 진행시킨 후에, 웨이퍼 뒷면의 산화막을 제거하고 전자빔증착법으로 알루미늄을 증착하여 하부전극을 형성하였고, 웨이퍼의 전면은 역시 전자빔증착기에서 알루미늄 dot 형태의 상부전극을 형성하여 capacitor를 제작하였다. 기준되는 시료는 $H_2SO_4 + H_2O_2$ 용액의 습식방법으로 감광제가 제거된 시료로 하였다. 플라즈마의 특성을 분석하고 ashing 중에 형성되는 화학종을 관찰하기 위하여는 광학적 다중채널 분석계 (Optical multi-channel analyzer)를 이용하여 emission spectrum을 수집하였다.

* : 인하대학교 반도체 및 박막기술연구소 전자재료공학과
접수일자 : 1996년 6월 19일
심사완료 : 1996년 9월 3일

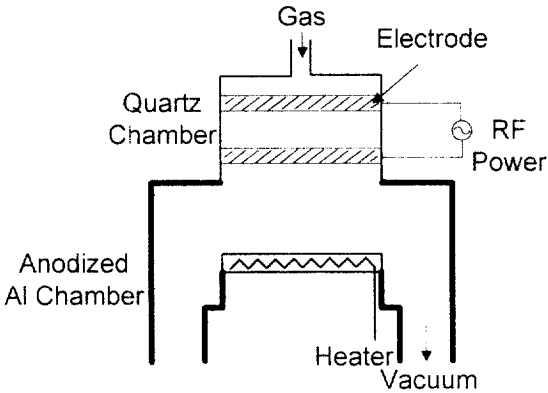


그림 1. Downstream Asher의 챔버부분 개략도
 Fig. 1. Schematics of downstream asher chamber

3. Ashing 실험

주요 공정변수에 따라 산소 플라즈마의 특성의 변화와 이것이 ashing에 미치는 영향을 관찰하였다. 시료가 없는 상태에서 산소플라즈마의 emission spectra에서는 매우 강한 777.5 nm 근처의 O⁺ 라디칼 피크와 이 보다는 약한 O⁻ 이온 피크가 844.5 nm에서, O₂ 피크들은 450 ~ 550 nm 근처에서 관찰되었으며, 유기물인 감광제를 제거하는 동안에는 유기물의 탄소와 결합하여 발생하는 부산

물인 CO의 피크들이 추가로 관찰되었다.⁷⁾ 그림 2는 산소플라즈마의 밀도를 매우 약하게 발생시킨 조건에서 ashing 시간에 따라 CO 피크의 세기가 감소하는 것을 보여주며, 이는 감광제의 제거가 완료되고 있는 과정을 보여주고있기 때문이다. 이러한 CO 피크의 변화는 end point detection scheme에 이용되고 있다.

그림 3은 RF power에 따른 감광제의 감광제 식각율의 변화를 보여주고 있다. 이때의 공정조건은 산소유입량은 1000 sccm, chamber 압력은 2 Torr, 웨어의 stage 온도는 200 C, 그리고 플라즈마와 웨어사이의 거리는 13 cm 로 고정하였다. RF power를 400 ~ 900 watt 로 변화시켰을 때에 감광제 식각율은 1.3 $\mu\text{m}/\text{min}$ 에서 2.1 $\mu\text{m}/\text{min}$ 으로 증가한다. 이러한 증가는 높은 RF power에서 산소분자의 dissociation rate가 증대되어 반응종의 농도가 증가하기 때문이다. 그림 4는 RF power가 800 watt일 때, chamber pressure에 따른 감광제 식각율의 변화를 보여주고 있는 것으로써, 1.0 ~ 1.5 torr에서는 다소 감광제 식각율이 증가하지만 그 이상의 압력에서는 별 변화가 없음을 나타낸다. 1.0 torr이상의 압력에서는 분자들의 충돌이 크기 때문에 ashing 반응후에 생성되는 H₂O, CO, CO₂ 등의 부산물들의 desorption에 큰 변화가 없기 때문으로 보인다. 감광제 식각율이 그림 5에서 보듯이 산소유입량에 따라서 증가하는 경향을 나타낸

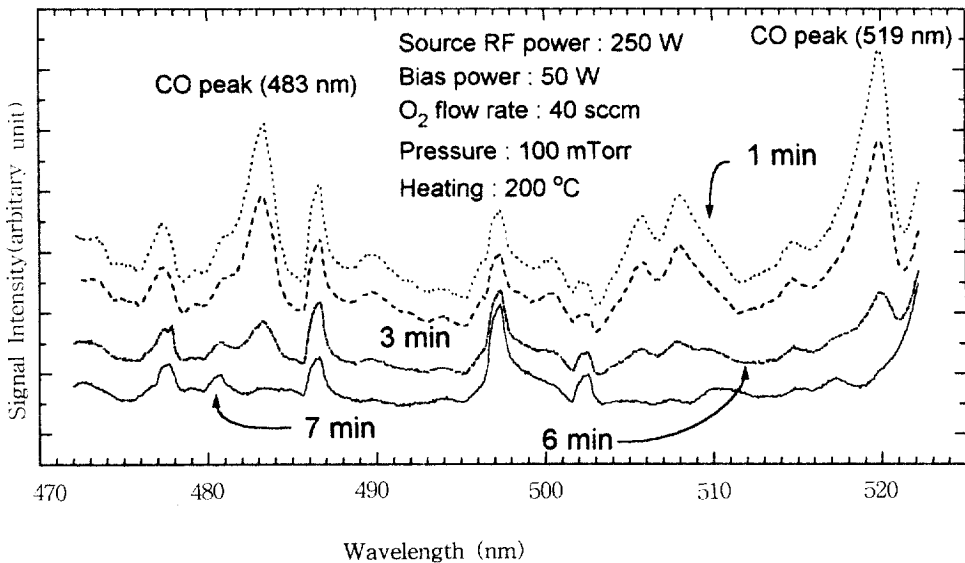


그림 2. 감광제식각중의 emission spectra의 변화
 Fig. 2. Optical emission spectra during ashing

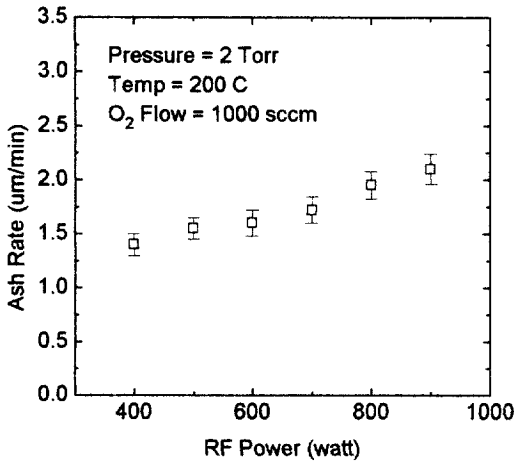


그림 3. RF power에 따른 감광제식각율의 변화
Fig. 3. Ashing rate vs. RF power.

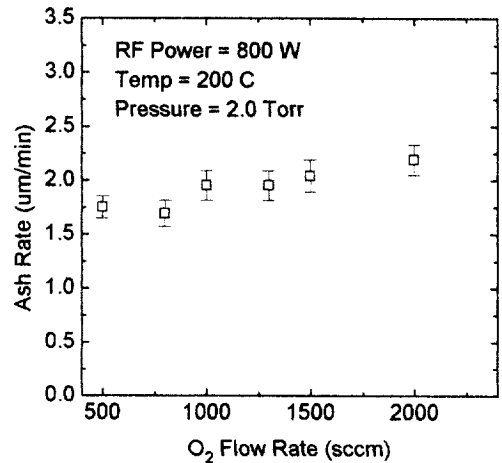


그림 5. 산소유입량에 따른 감광제식각율의 변화
Fig. 5. Ashing rate vs. Oxygen flow rate.

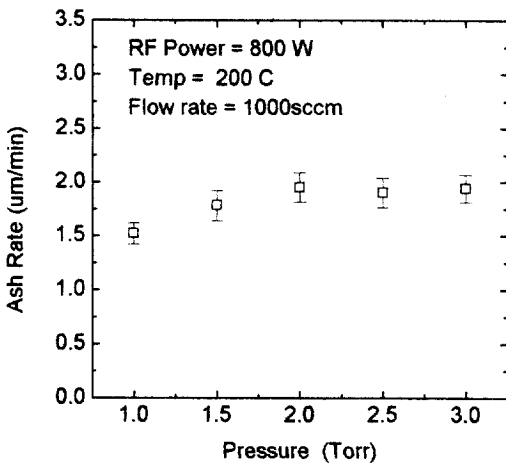


그림 4. 챔버 압력에 따른 감광제식각율의 변화
Fig. 4. Ashing rate vs. chamber pressure.

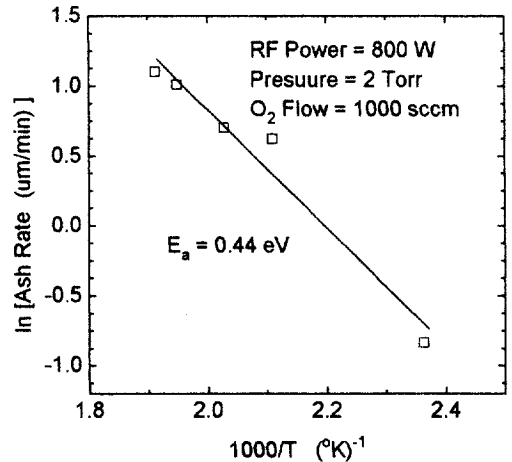


그림 6. 웨이퍼 스테이지의 온도에 따른 감광제식각율의 변화
Fig. 6. Arrhenius plot of ashing rate.

다. Chamber pressure 를 2 torr로 고정하였기 때문에 산소유입량이 커지면 진공펌프의 배기량도 많아져야하며, 그결과 chamber 내에서의 분자들의 흐름도 빨라지게된다. 따라서 ashing 반응에 필요한 산소 라디칼의 공급과 반응부산물의 제거가 원활히 이루어져 감광제 식각율이 증가하는 것으로 믿어진다.

공정온도에 대한 감광제 식각율의 변화를 알아 보기 위해 측정 데이터를 그림 6과 같은 Arrhenius plot으로 구성하였으며, 최소자승법으로 구한 직선의 기울기로부터 activation energy가 0.44 eV 임을 알았다. 이 값은 Tokyo Ohka OFPR 800의 감광제를 제거한 S. Fujimura et al 의 보고

에서⁴⁾ 산소만을 유입한 조건의 실험결과로부터 구한 0.5 eV 보다는 다소 작은 값이며, Shipley 1400-25의 감광제를 사용한 F. Pasierb et al 의 보고인²⁾ 0.29 eV 보다는 큰 결과로써, 본실험에서 사용한 AZ 1350J과 그들의 감광제는 구성하는 기본 유기물 base가 다르기 때문으로 생각된다. 이 activation energy는 산소플라즈마의 산소 라디칼과 감광제와의 반응에 의하여 CO, CO₂, H₂O 등이 형성되는 반응과 관련되는 것이다. 또한 유기질풀리머의 건식식각은 플라즈마의 활성종에 의하여 감광제의 hydrocarbon 결합의 수소가 분리되어 추출되는 과정으로부터 시작된다고 알려져있다.⁴⁾ 따라서 이 activation energy는 수소추출반응에 관련

되는 것으로써 감광제의 종류에 따라서 달라지며, 또 활성종의 종류가 달라지게 되므로 반응기체의 종류에 따라서도 달라지게 된다.

4. 공정의 최적화

주요공정변수의 최적화하여 최대의 감광제 식각율과 균일도를 얻으면서 플라즈마에 의한 손상을 최소화하기 위하여 robustic design 개념의 통계적 실험계획과 추정치분석을 수행하였다. 공정변수로는 RF power (POWR), chamber pressure (PRES), 웨이퍼 stage 온도 (TEMP), 산소유입량 (FLOW), 그리고 플라즈마끝과 웨이퍼간의 거리 (DIST)를 고려하였다. 특히 플라즈마 끝과 웨이퍼간의 거리는 downstream 방식의 asher에서는 매우 중요한 인자이며, 플라즈마로부터의 거리가 멀수록 이온의 영향은 적어지고 라디칼의 역할이 증대되어 downstream 방식의 장점인 적은 손상 효과를 기대할 수 있기 때문이다. 이온농도의 감소는 이온들의 dispersion과 recombination 과정이 흐름과정중에 일어나기 때문이다. 그러나 거리가 멀어지면 손상 감소와 감광제 식각율의 균일도는 개선되지만, 너무 멀어지면 감광제 식각율의 감소가 예상되므로 이 DIST 인자도 고려하여 최적화가 이루어져야한다. 이들 변수들의 수준과 이에 대응되는 설계값을 표 1에, 그리고 실험배열은 표 2에 각각 나타내었다. 실험배열은 $L_{27}(3^{13})$ 의 표준직교배열표를 이용하였다.⁶⁾ 예로써 표 2의 실험번호 10번 시료는 DIST 1수준, PRES 0수준, FLOW 0수준, TEMP 1수준, 그리고 POWR 2수준의 공정조건을 경험하게 된다. 각인자의 수준별 설계값은 표 1에 나타나 있으므로 이 시료는 플라즈마로부터 13cm 떨어진 곳에 웨이퍼를 위치시키고 chamber 압력은 1.0 torr, 산소유입량은 600 sccm, 웨이퍼 stage의 온도는 160 C, 그리고 RF power는 800 watt로 공정시킨다는 의미이다. 하나의 조건에서 얻은 감광제 식각율 데이터는 9개씩이었다.

감광제를 회전도포하고 oven에서 bake하며, (표 1)에서 정하여진 조건으로 ashing 공정을 진행한 후에 감광제 식각율을 측정하여 9개의 데이터를 얻은 것이다. 표 2에는 실험결과의 데이터도 수록하였는데, 평균값은 9개의 데이터를 산술평균한 것이며, Signal-to-Noise ratio (S/N ratio, 단위는 dB)는 아래의 식을 이용하여 환산한 것이다. 감광제 식각율은 클수록 좋으며 그러면서도 균일하기를 원하고 있기에 S/N ratio를 구하는 식은 아래와 같다.⁶⁾

표 1. 실험변수와 변수의 수준

Table 1. Experimental variables and their levels

변수이름	SYMBOL	인자의 수준		
		0 수준	1 수준	2 수준
RF Power	POWR	400	600 [Watt]	800
Chamber Pressure	PRES	1.0	2.0 [Torr]	3.0
Oxygen Flow Rate	FLOW	600	1000 [sccm]	1400
Wafer Stage Temperature	TEMP	160	200 [C]	240
Plasma End to Wafer Distance	DIST	14.0	13.0 [cm]	12.0

표 2. 실험배열과 실험결과. ¹⁾ 9개 측정치의 산술평균.

Table 2. Experimental array and measurement results.

실험 번호	D I S T	P R E S	F L O W	T E M P	P O W R	average ashing rate (um/min)	S/N ratio (dB)
1	0	0	0	0	0	0.61	6.48
2	0	0	1	1	1	1.27	12.07
3	0	0	2	2	2	2.02	16.18
4	0	1	0	0	0	0.65	7.17
5	0	1	1	1	1	1.40	12.93
6	0	1	2	2	2	2.16	16.57
7	0	2	0	0	0	0.55	5.90
8	0	2	1	1	1	1.22	11.75
9	0	2	2	2	2	2.10	16.02
10	1	0	0	1	2	1.51	13.51
11	1	0	1	2	0	1.90	15.50
12	1	0	2	0	1	1.00	10.21
13	1	1	0	1	2	1.62	14.40
14	1	1	1	2	0	2.16	16.20
15	1	1	2	0	1	1.04	13.58
16	1	2	0	1	2	1.48	13.50
17	1	2	1	2	0	1.80	15.09
18	1	2	2	0	1	0.84	8.28
19	2	0	0	2	1	2.12	16.52
20	2	0	1	0	2	0.98	9.44
21	2	0	2	1	0	1.72	14.50
22	2	1	0	2	1	2.23	17.10
23	2	1	1	0	2	0.88	8.95
24	2	1	2	1	0	1.90	16.80
25	2	2	0	2	1	2.08	16.91
26	2	2	1	0	2	0.95	9.19
27	2	2	2	1	0	1.67	14.52

n 개의 측정치 Y_1, Y_2, \dots, Y_n 에 대하여

$$MSD = \frac{1}{n} \left(\frac{1}{Y_1^2} + \frac{1}{Y_2^2} + \dots + \frac{1}{Y_n^2} \right)$$

$$S/N \text{ ratio} = -10 \log (\text{MSD})$$

Signal-to-Noise ratio의 개념은 통신시스템에서 유래한 것으로서, 어떤 시스템이 주어진 입력신호를 가공하여 내보내는 출력신호에 잡음이 작을수록 그 시스템은 좋은 것이며, 또한 입력신호를 변경할 때에 좋은 시스템은 잡음에 적은 영향을 받으면서 변경된 입력에 의하여서만 결정되는 출력을 줄 것이다. 즉 이 방법으로 최적화가 된 asher에서는 공정변수의 값을 변경하면 그 변경된 공정변수에만 영향을 받아 감광제 식각율과 균일도라는 출력이 결정되며 공정변수와 관련이 없는 인자, 즉 잡음에는 영향을 받지 않는 시스템이 된다. 따라서 모든 분석은 이 S/N비를 이용하게되며, 최적화과정 또한 이 S/N비를 최대로 하는 공정조건을 찾는 작업이 된다. 표 3에는 실험에 사용한 각 변수들에 대하여 수준별 S/N비의 평균값을 수록하였으며, 표 4에는 분산분석표를 나타내었다.⁸⁾ 분산분석표에서 SS는 sum-of-square(변동), df는 degree of freedom(자유도), MS는 mean square(분산)를 각각 말하며, F-ratio는 설명되는 분산과 설명되지 못하는 분산 (Residual 성분)과의 비를 말한다. 자유도를 고려하면 이 F-ratio로부터 어떤 성분의 통계적확율이 나오는데 그것이 p-value인 것이며, 본 실험에서 고려한 변수들은 POWR 변수의 94%를 제외하면 모두 확율이 99% 이상으로 나타났다. 또한 분산분석표의 MS값의 크기로 보면 감광제 식각율과 균일도에 가장 크게 영향을 주는 변수는 본실험에서 변화시킨 범위 내에서 볼 때에 TEMP이며, 그 다음으로는 DIST, FLOW, PRES, 그리고 POWR의 순서임을 알 수 있다.

표 3. 각변수에 대한 수준별 S/N비의 평균값
Table 3. Average of S/N ratio for each variable

변수	0 수준 [dB]	1 수준 [dB]	2 수준 [dB]
DIST	11.67	13.03	13.77
PRES	12.71	13.41	12.35
FLOW	12.39	12.35	13.74
TEMP	8.47	13.78	16.23
POWR	12.46	12.93	13.08

따라서 이 변수들의 수준을 결정하여 감광제 식각율을 최대로 하기 위하여 표 3으로부터 S/N비를 최대로 하는 변수의 수준을 찾았다. 이로부터 DIST는 2수준의 경우가 13.77dB로 가장 컸으며, PRES는 1수준에 13.41dB으로 제일 크며, FLOW는 2수준, TEMP는 2수준, 그리고 POWR은 2수준일 때가 가장 큰 dB값을 준다. 이것은 플라즈마와

표 4. Pooling한 분산분석표
Table 4. Pooled ANOVA table

Source	SS	df	MS	F-ratio	P value
DIST	20.33	2	10.17	36.2	0.000
PRES	5.23	2	2.61	9.3	0.002
FLOW	11.32	2	5.66	20.2	0.000
TEMP	283.57	2	141.79	505.0	0.000
POWR	1.89	2	0.94	3.4	0.061
Residual	4.49	16	0.28		
Total	326.82	26			

웨이퍼간의 거리는 12 cm로, chamber내의 압력은 2.0 torr, 산소유입량은 1400 sccm, 웨이퍼 stage의 온도는 240 C 로, 그리고 RF power는 800 watt로 설정하면 최대의 감광제 식각율과 좋은 균일도를 얻는다는 것을 의미한다.

플라즈마와 웨이퍼간의 거리(DIST)의 경우에 간격이 짧아지면 감광제 식각율은 높아지지만 반면에 down-stream의 거리가 짧아져 플라즈마에 의한 결함 또는 손상이 생길 수 있다. 이 결함은 주로 입자충돌(particle bombardment)과 자외선에 의한 damage들이며, 주로 Si/SiO₂ 계면에 영향을 준다.⁹⁾ MOS capacitor에서 산화막에 존재하는 전하는 mobile charge, oxide trapped charge, fixed oxide charge, 그리고 전자나 정공의 mobility에 크게 영향을 주는 interface trapped charge가 있으며¹⁰⁾ 이 중에서 interface trapped charge는 플라즈마에 의하여 가장 민감하게 변한다.⁹⁾ 식각율과 균일도 이외에 이러한 손상정도를 확인하기위하여 시료제작 및 측정에서 기술한 바와 같은 방법으로 capacitor를 제작하였으며 일반적인 C-V 측정을 하였다. 즉, 1MHz 신호의 C-V 곡선으로부터 flat band voltage(V_{FB})와 fixed oxide charge(Q_f)를 구하였으며, 100 Hz의 quasi-static C-V plot을 통해 mid-bandgap에서의 계면 포획 전하 밀도(interface trapped charge density, D_{it})를 각각 구하였다.¹¹⁾ 가장 큰 영향을 주는 것으로 생각되는 거리(DIST)를 변화시키며 실험을 하였으며 계산된 계면포획 전하밀도의 결과를 그림 7에 거리가 12cm, 13 cm, 14 cm인 경우에 대하여 비교하였고 습식방법으로 마련한 reference 시료의 것도 제시하였다. 이때에 다른 공정조건들은, RF power는 800 watt, chamber 압력은 2 torr, 웨이퍼 stage 온도는 240 C, 산소유입량은 1400 sccm 으로 고정하였다.

Fixed charge 밀도는 $V_{FB} = \phi_{ms} - \frac{Q_f}{C_{ox}}$ 의 관계로부터 구하여진다.¹¹⁾ 여기에서 ϕ_{ms} 는 gate

metal과 Si 기판과의 work function 차이로써, 본 실험에서는 알미늄과 $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ 의 N type Si 경우이므로 -0.28 V 가 되며 C_{ox} 는 gate capacitance 로써 $2.27 \times 10^{-7} \text{ F}/\text{cm}^2$ 이 된다.¹¹⁾ Forming gas에서 어닐링한 후에 측정된 flat band voltage, V_{fb} 는 -0.40 에서 -0.45 V 이었으므로 Q_f 는 약 $1.7 \sim 2.4 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ 으로 구해졌다. 계면포획전하밀도, D_{it} 는 quasi-static C-V curve로부터 최소 capacitance인 C_{LF} 를 구하고, 고주파 C-V로부터 최소값인 C_{HF} 를 구하여 아래의 식으로부터 구하였다.¹¹⁾

$$D_{it} = \frac{C_{ox}}{q} \left(\frac{C_{LF}/C_{ox}}{1 - C_{LF}/C_{ox}} - \frac{C_{HF}/C_{ox}}{1 - C_{HF}/C_{ox}} \right)$$

(그림 7)에서 보듯이 거리가 13 cm 이상에서는 D_{it} 값이 $1 \times 10^{11}/\text{cm}^2\text{-eV}$ 이하로써 기준 데이터와 비교하여 거의 다른 점이 없었으나 12 cm에서 진행한 시료에서는 포획밀도가 $2 \times 10^{11}/\text{cm}^2\text{-eV}$ 로 다소 증가하였다. 따라서 DIST는 감광제 식각율을 다소 감소하지만 손상을 적게하기 위하여 1수준값인 13cm로 결정하였다.

이렇게 결정된 최적조건을 확인하기 위하여, 우선 그 조건에서의 감광제 식각율과 균일도 (또는 S/N비)를 예측하고, 확인실험을 통하여 그 것을 검증하게 된다. 예측치는 다음과 같은 식으로 구하게 되는데, 이 식은 신뢰도 95%의 신뢰구간을 보여준 것이다.⁶⁾

$$\hat{Y} = \bar{Y} \pm t(\phi, 0.025) \sqrt{\frac{MS_{res}}{n_e}}$$

여기에서 \bar{Y} 는 예측치의 중앙값이 되며, $t(\phi, 0.025)$ 는 자유도가 ϕ 인 student-t 분포 함수에서 신뢰도 95%가 되는 t 값을 말한다.⁶⁾ 또한 MS_{res} 는 분산분석표에서 나타나는 Residual 성분의 분산값을 나타내며, n_e 는 유효실험수이다.⁶⁾ 본 실험에서는 $\phi=16$ 이므로 $t = 2.12$ 가 되고⁶⁾ n_e 는 2.36 이어서,⁷⁾ 위의 식으로부터 예측치는 95%의 신뢰도에서 $18.21 \pm 0.73 \text{ dB}$ 라고 구해지며, 이 S/N비는 감광제 식각율로는 $2.58 \pm 0.2 \mu\text{m}/\text{min}$ 로 환산된다. 선정된 최적조건에서 ashing 공정을 2장의 8인치 웨이퍼를 가지고 진행한 결과 $2.42 \mu\text{m}/\text{min}$ 의 감광제 식각율과 2.5%의 균일도를 얻었으며, 이는 (표 2)의 그 어떤 공정조건보다도 좋은 결과인 것임을 알 수 있다.

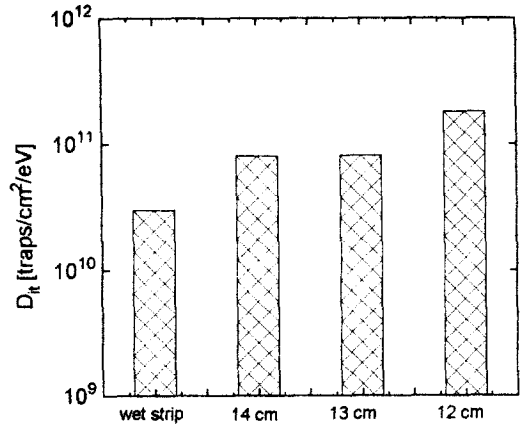


그림 7. 플라즈마로부터의 거리에 따른 계면포획 밀도

Fig. 7. Interface trap density at mid bandgap vs. plasma-to wafer distance.

5. 결 론

단일 웨이퍼를 처리하는 downstream 방식의 전자용 ashер에서 공정변수에 따른 ashing 특성을 조사하였다. 그 결과 RF power가 증가하면 플라즈마 밀도가 증가하며 감광제 식각율도 증가하였다. 산소 유입량이 증가하면 반응종의 공급과 반응부산물의 제거가 빨라져서 감광제 식각율은 증가하였다. 온도상승에 따른 감광제 식각율의 변화로부터 ashing 반응의 활성화에너지가 0.44 eV 임을 알았다. 이러한 관측들은 ashing이 산소 라디칼에 의한 화학적반응에 기인한다는 것을 말한다. 다음으로, 장비특성을 최적화하기 위하여 통계적 실험계획법을 적용하여, 감광제 식각율을 극대화시키고 균일도를 향상시키며 플라즈마에 의한 손상을 최소화시키도록 공정 및 장비변수를 결정하였다. 반복실험을 통하여 이 최적화방법이 유용함을 확인할 수 있었다.

* 본논문은 1994년도 인하대학교 교내연구비 지원으로 수행되었으며, ashер 사용의 편의를 베풀어준 PSK Tech사에도 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. J. E. Spencer and A. Hoff, "Productivity enhancement through afterglow photoresist

- removal." Proc. of SPIE, Advances in Resist Technol. and Process. III, vol 631, pp 214-219 (1989).
2. F. Pasierb, A. Ghanbari, M. Ameen, and R. Heinrich, "Characterization of a novel microwave stripper," J. Vac. Sci. Technol. vol. A 10(4), pp 1096-1099 (1992).
 3. C. Huynh and J. C. Mitchener, "Plasma vs ozone photoresist ashing: Temperature effects on process-induced mobile ion contamination," J. Vac. Sci. Technol. vol. B 9 (2), pp 353-356 (1991).
 4. S. Fujimura, K. Shinagawa, M. Suzuki, and M. Nakamura, "Resist stripping in an O₂ + H₂O plasma downstream," J. Vac. Sci. Technol. vol. B 9(2), pp 357-361 (1991).
 5. S. W. Pang, K. Sung, and K. K. Ko, "Etching of photoresist using oxygen plasma generated by a multipolar ECR source," J. Vac. Sci. Technol. vol. B 10(3), pp1118-1123 (1992).
 6. M. S. Phadke, "Quality engineering using robust design," Prentice-Hall, (1989).
 7. D. L. Flamm, "Dry plasma resist stripping Pt. III," Solid State Technol., pp 43-48 (1992).
 8. L. L. Lapin, "Probability and statistics for modern engineering," PWS pub., (1983).
 9. K. H. Sibbett, "Process simulators for Si VLSI and high speed GaAs devices," Stanford University, Ch. 14 (1987).
 10. S. M. Sze, "Physics of semiconductor devices," John Wiley and Sons, Ch. 7 (1981).
 11. D. K. Schroder, "Semiconductor Materials and Device Characterization," John Wiley & Sons, Ch. 6 (1990).

저자소개

박세근



1952년 6월 19일생. 1974년 서울대학교 전자공학과 졸업. 1985년 The Univ. of Texas at Austin 전자공학박사. 1976년-79년 전자통신연구소 연구원. 1986년-88년 금성일렉트론(주) MOS기술부장. 1988년 3월-현재 인하대학교 부교수.

이종근



1960년 5월 18일생. 1988년 인하대학교 응용물리학과 졸업. 1991년 동 대학원 응용물리학과 졸업(석사). 1991년-92년 (주) 금성 회사원. 1992년-93년 인하대 물리학과 전임조교. 1993년-현재 인하대학교 전자재료공학과 박사과정.