

# OES를 이용한 질화막/산화막의 식각 스펙트럼 데이터 분석

박수경<sup>1</sup>, 강동현<sup>1</sup>, 한승수<sup>2</sup>, 홍상진<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 명지대학교 전자공학과

<sup>2</sup> 명지대학교 정보통신공학과

## Nitride/Oxide Etch Spectrum Data Verification by Using Optical Emission Spectroscopy

Soo Kyoung Park<sup>1</sup>, Dong Hyun Kang<sup>1</sup>, Seung-Soo Han<sup>2</sup>, and Sang Jeen Hong<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electronic Engineering, Myongji University, 449-728 Yongin, Korea

<sup>2</sup> Department of Information and Communication Engineering, Myongji University, 449-728 Yongin, Korea

(Received March 21, 2012; Revised April 5, 2012; Accepted April 13, 2012)

**Abstract:** As semiconductor device technology continuously shrinks, low-open area etch process prevails in front-end etch process, such as contact etch as well as one cylindrical storage (OCS) etch. To eliminate over loaded wafer processing test, it is commonly performed to employ diced small coupons at stage of initiative process development. In nominal etch condition, etch responses of whole wafer test and coupon test may be regarded to provide similar results; however, optical emission spectroscopy (OES) which is frequently utilize to monitor etch chemistry inside the chamber cannot be regarded as the same, especially etch mask is not the same material with wafer chuck. In this experiment, we compared OES data acquired from two cases of etch experiments; one with coupon etch tests mounted on photoresist coated wafer and the other with coupons only on the chuck. We observed different behaviors of OES data from the two sets of experiment, and the analytical results showed that careful investigation should be taken place in OES study, especially in coupon size etch.

**Keywords:** Optical emission spectroscopy, Coupon test, Data qualification

### 1. 서 론

#### 1.1 반도체 공정 모니터링

반도체 제조 기술은 과거부터 지금까지 무어의 법칙에 따라 반도체 회로 선폭의 미세화를 위한 기술 개발에 주력을 해왔다 [1]. 반도체 소자의 고집적화, 데이터 처리 고속화, 그리고 낮은 비용소모를 위해 반도체 공정의 이상 감지기술의 필요성이 대두되었으며, 선폭 미세화로 인한 초정밀 공정으로 세대가

넘어갈수록 작은 이상에도 복구하기 힘든 불량을 야기하므로 보다 정밀한 공정 이상 감지기술이 필요하다.

SPC (statistical process control)는 통계적인 방법을 이용한 공정 관리 방법으로 반도체 소자 생산이 활발하게 진행된 1990년대 초반에 많이 사용된 방법이다. 그러나 세대를 거듭할수록 공정 변수의 허용범위가 좁아지면서 SPC를 이용한 공정 관리법은 이상 공정을 예방하는데 한계가 있다.

APC (advanced process control)는 장비로부터 제공되는 주요 변수를 실시간으로 진단하고, 예기치 않은 오류 발생으로 인한 공정의 이상 유무를 판단하여 이상 공정의 발생을 최소

\* Corresponding author; [samhong@mju.ac.kr](mailto:samhong@mju.ac.kr)

화하고자 하는 방법이다. APC를 이용하여 반도체 생산 장비에 대한 현상 데이터를 수집하고, 데이터 분석을 통해 이상 공정 진단 등의 발전으로 인해 수율 증가와 공정 생산율의 증가 등의 이익을 기대할 수 있다 [2].

## 1.2 OES를 이용한 플라즈마 식각 공정 모니터링

OES (optical emission spectroscopy)는 플라즈마 내에 존재하는 이온과 라디칼로 부터 발생하는 광원을 흡수스펙트럼으로 변환시켜, 특정한 파장에서 발생하는 스펙트럼의 강도 (intensity)를 모니터링하여 해당 화학종의 변화를 관찰한다 [3]. 이를 플라즈마 식각공정에서 제거하고자 하는 박막 물질에 해당하는 파장의 강도를 모니터링하여 그 변화를 감지할 수 있다. 식각물질이 모두 반응하여 더 이상 부산물이 발생하지 않을 때 해당하는 파장의 강도에도 변화가 발생하게 되며, 이 지점을 검출하는 것이 OES를 이용한 EPD (end point detector)의 원리이다 [4].

그러나 오늘날 소자 선폭의 감소로 인해 식각 영역이 점점 감소함에 따라 부산물의 발생정도와 OES 신호의 세기가 줄어들었고, 때문에 변화폭이 큰 기존의 OES 신호에 비해 단일 파장의 변화점을 검출하는데 있어서 어려움이 있다 [5]. 또한 오늘날 서로 다른 물질을 식각하는 데 소모되는 공정 비용을 줄이고자 한 번의 공정으로 2가지 이상의 박막을 식각하는 기술이 발전함에 따라 다양한 화학종이 발생함으로써 단일 파장의 특성 검출점을 판단하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 데이터 처리 알고리즘이 연구되고 있다 [4,5].

## 1.3 논문의 개요

일반적으로 식각 영역 (open area)이란 플라즈마가 웨이퍼 표면에 닿는 면적과 식각이 이루어지는 부분의 비율로 표현한다. 특히 open area가 10% 미만의 경우를 low open area라고 하며, 오늘날에는 소자의 선폭이 점점 감소함에 따라 low open area의 OES를 이용한 EPD에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. Low open area etch 시 특정한 파장을 독립적으로 모니터링 할 경우, 상대적으로 반응이 적게 일어나기 때문에 그만큼 신호의 세기 또한 약하게 되어 식각 종료점 판독이 어렵게 된다 [6].

한편, low open area에 따른 정확한 식각 최적 조건을 얻기 위해서 소모되는 웨이퍼의 양과 실험비용이 상당하다. 따라서 식각하고자 하는 영역과 동일한 open area를 가진 웨이퍼 조각으로 대신 실험하는 방법을 사용하는데, 이를 쿠폰 웨이퍼 테스트 (coupon wafer test, 또는 coupon test) 라고 부른다. 이 방법은 산업에서 실제 생산에 적용하기 전 최적 공정 조건

을 간접적으로 파악하는데 사용하고 있다. 쿠폰 웨이퍼를 척 (chuck) 위에 두고 공정을 진행할 경우, 이는 쿠폰 웨이퍼의 open area가 패턴 웨이퍼 (whole patterned wafer)와 동일한 open area를 가진다는 가정을 바탕으로 한다. 즉, 식각하고자 하는 부분 외 나머지 영역은 식각되지 않는데, chuck은 반응에 관여하지 않으므로 open area 산정에 포함할 수 있다는 논리를 근거로 삼는다. 그러나 식각공정을 OES로 모니터링 하는 경우, 플라즈마 내의 이온과 라디칼이 박막과 반응하며 발생하는 빛에너지를 검출하여 분석하는 원리이므로 플라즈마와 척 또는 캐리어 웨이퍼의 반응을 비교할 필요가 있다. 따라서 이 논문에서는 low open area인 쿠폰웨이퍼를 이용한 식각공정을 OES로 실시간 모니터링할 경우, 쿠폰 웨이퍼를 포토레지스트 (photoresist)가 코팅된 캐리어 웨이퍼 (carrier wafer)에 부착하여 실험하는 경우와 캐리어 웨이퍼 없이 척 (chuck)에 올려 놓고 식각하는 경우의 데이터가 동일하다는 조건 하에 데이터 간의 유사 정도를 검증하고자 한다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 샘플 제작 과정

웨이퍼 전체의 면적 중 open area가 1%라고 가정할 경우, 일반적인 쿠폰 웨이퍼 테스트는 1%에 해당하는 패턴이 있는 쿠폰 웨이퍼를 식각함을 의미한다 [6]. 이는 쿠폰 웨이퍼를 놓을 척의 나머지 공간까지 모두 포함하였을 때 해당하며, 실제로 공정 중에는 척은 반응하지 않으므로 open area를 산정하는데 척의 영역도 포함시킨다. 그러나 궁극적으로 확인하고자 하는 웨이퍼는 open area를 제외한 나머지 영역이 모두 포토레지스트로 덮여있고, 포토레지스트가 없는 부분만 반응하도록 한다.

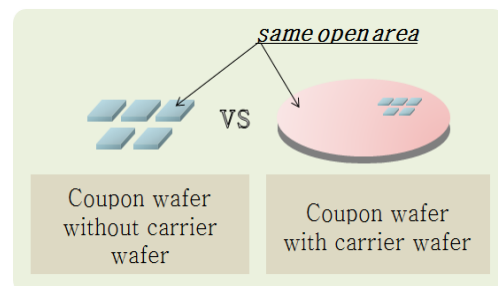


Fig. 1. Two types for coupon wafer test.

본 논문에서는 두 가지 경우가 모두 본래 웨이퍼의 open area와 동일하다고 가정하고, 식각 결과와 OES 데이터가 동일

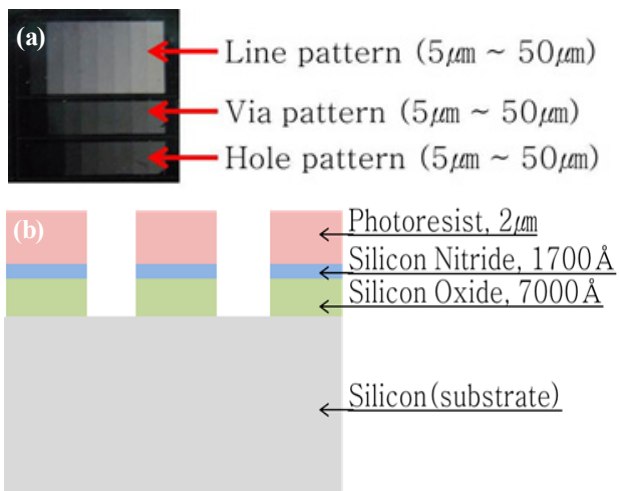


Fig. 2. (a) coupon wafer picture, (b) schematic diagram of coupon wafer (0.8% open area).

한지를 확인하고자 한다. Low open area에서의 식각에 따른 상태를 확인하기 위해 약 0.8% 정도의 open area를 갖는 쿠폰 웨이퍼 5장을 사용하였다. 쿠폰의 크기는 가로 세로 1 cm인 정사각형이고, 4 inch 실리콘 웨이퍼 (silicon wafer)를 다이싱 (dicing)하였다. 실리콘 substrate 위에 silicon oxide, silicon nitride인 이중 층 (double layer)으로 구성되어 있으며, 식각 패턴은 라인 패턴, 비아 (via) 패턴, 홀 (hole) 패턴 3종류이고, 패턴 크기는 5  $\mu\text{m}$ 부터 5  $\mu\text{m}$ 씩 증가하여 50  $\mu\text{m}$ 까지로 구성되어 있다. 그림 2는 실험에 사용한 쿠폰 웨이퍼의 확대사진과 측면 이미지이다.

두 가지 테스트 환경을 비교하기 위하여 첫 번째 실험군은 4 inch 실리콘 웨이퍼 위에 포토레지스트를 도포하고, 그 위에 쿠폰 웨이퍼 5개를 부착하였다. 포토레지스트는 AZ3312 positive photoresist를 사용하였고, 약 5  $\mu\text{m}$  두께로 도포한 후 하드 베이킹 (hard baking) 하였다. 두 번째 실험군은 캐리어 웨이퍼 없이 chuck 위에 쿠폰 웨이퍼 5개로 공정을 진행했다.

## 2.2 실험 장비 및 실험 조건

위 실험은 Georgia Institute of Technology MiRC Pettit Cleanroom에서 진행하였으며, Text Instruction사의 Plasma Thermal RIE를 사용하였다. 표 1은 쿠폰 웨이퍼 테스트의 실험 조건이다. 두 가지 경우에 대해 모두 동일한 조건으로 실험을 진행하였으며, 각각 3회씩 반복 실험하였다.  $\text{CHF}_3$ 와  $\text{O}_2$ 가스를 주입하여 silicon oxide와 silicon nitride를 동시에 식각하였으며, overetch가 일어나도록 하기 위해 공정을 30분 동안

Table 1. Experiment conditions of coupon wafer test.

Type	Run No.	Recipe			
		RF power	Gas	Pressure	Time
With Carrier Wafer	#1	450 W	$\text{O}_2$ : 5 sccm	20 mTorr	1,800 sec.
	#2				
	#3				
Without Carrier Wafer	#4		$\text{CHF}_3$ : 45 sccm	20 mTorr	1,800 sec.
	#5				
	#6				

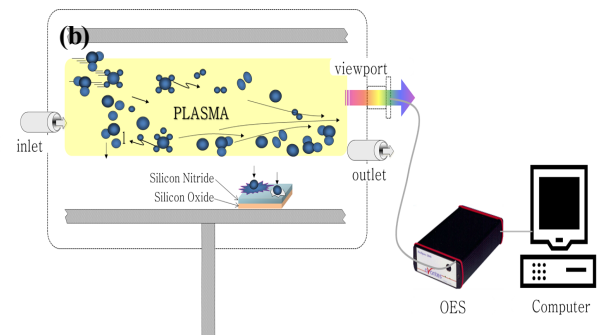
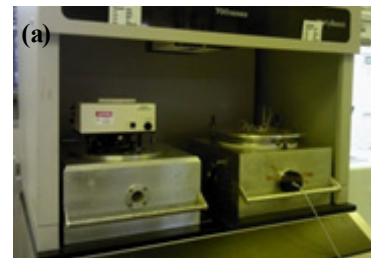


Fig. 3. Etch system: (a) figure for assembly the optic fiber at viewport and (b) outline of data gathering system.

진행하였다. OES 데이터를 얻기 위하여 에치 전면부에 위치한 뷰포트에 광케이블을 설치하였고, RF power가 켜진 순간부터 데이터를 저장하였다. 그림 3은 OES 장착 사진과 실험환경을 도식화한 이미지이다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 식각 결과 분석

Table 2. Measurement of depth silicon overetch.

Type	Run No.	PR condition	Si etch depth	Overetch
with carrier wafer	#1	PR erroision	526.4 Å	Overetch
	#2	PR erroision	-	Underetch
	#3	PR erroision	0 Å	-
without carrier wafer	#4	PR erroision	3,250 Å	Overetch
	#5	PR erroision	4,250 Å	Overetch
	#6	PR erroision	3,200 Å	Overetch

동일한 실험 조건 동안 식각한 결과를 확인하기 위해 주사전자현미경 (scanning electron microscope, SEM)으로 쿠폰 웨이퍼의 단면을 확인하고, 식각이 된 정도를 확인하였다. 식각 전과 식각 후의 쿠폰 웨이퍼의 상태를 비교하기 위하여 식각 전, 식각 후 포토레지스트 제거 전, 포토레지스트 제거 후를 SEM으로 확인하였다. 표 2는 식각 후 over-etch 정도를 측정된 결과이다.

식각 후 포토레지스트 제거 전의 표면을 확인한 결과, 6회 실험 모두 포토레지스트 부식이 발생함을 확인할 수 있었다. 특히 silicon substrate의 식각정도를 측정된 결과 캐리어 웨이퍼가 없는 경우는 모두 3,000 Å 이상 over-etch가 일어났으나, 캐리어 웨이퍼가 있는 경우는 이상적으로 식각이 종료되거나 Run #2의 경우는 under-etch가 발생함을 확인할 수 있었다.

또한 모든 실험에서 silicon nitride의 옆면도 식각이 발생함을 확인하였다. 이는 silicon oxide과 반응하면서 동시에 silicon nitride도 반응한 경우와 긴 공정시간으로 인해 식각반응이 과하게 일어난 것으로 추측한다.

Run #1 ~ #3에 사용한 캐리어 웨이퍼 위의 포토레지스트의 두께를 alpha-step으로 측정된 결과, 약 1.8  $\mu\text{m}$ 이 남아있음을 확인하였다. 처음 포토레지스트를 도포할 때의 두께는 5  $\mu\text{m}$ 였다. 동일한 공정 조건임에도 불구하고 캐리어 웨이퍼가 없는 경우에서 3,000 Å 이상 over-etch가 발생한 결과는 플라즈마가 균일하게 분포하여 두 실험군의 open area에서 동일하게 식각이 될 것이라는 추측이 옳지 않을 수도 있음을 보여준다고 할 수 있다.

실제로 식각공정 중 식각하고자 하는 패턴의 면적이 상대적으로 넓어 반응이 원활하지 않을 경우, 좁은 패턴에 비해 식각이 더디게 일어나서 식각 깊이가 달라질 수 있으며, 반대로 아주 미세한 패턴과 반응성 이온이 만나 식각이 이루어진 후 부산물의 배출이 원활하지 않아 넓은 패턴에 비해 상대적으로 식각이 잘 되지 않는 경우가 있다. 이러한 현상을 loading

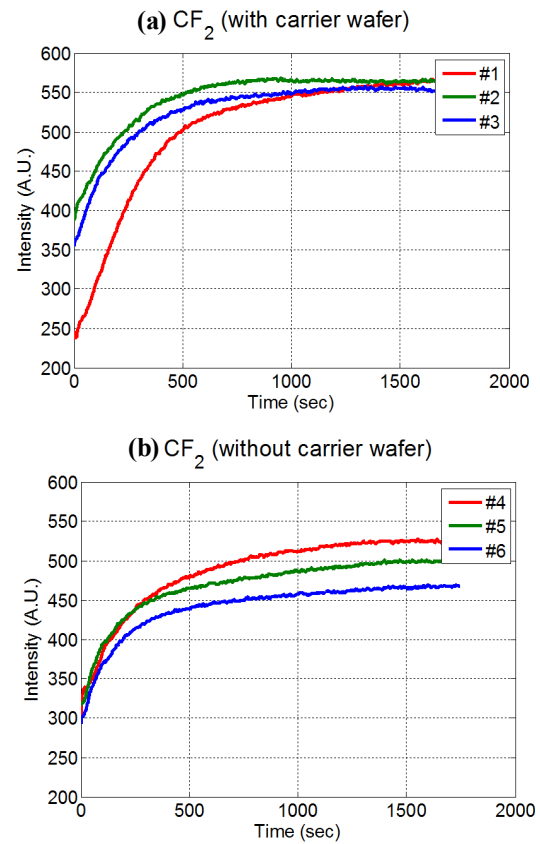


Fig. 4. Intensity of CF<sub>2</sub> (321.40 nm) depend on time: (a) with carrier wafer, (b) without carrier wafer.

effect라고 하며, 전자의 경우를 macro loading effect, 후자의 경우를 micro loading effect 라고 한다 [7]. 즉, 캐리어 웨이퍼의 포토레지스트가 상당량 반응한 것을 고려한다면, 상대적으로 캐리어 웨이퍼가 없는 부분에 집중적인 식각이 일어날 수 있다고 추측할 수 있다.

## 3.2 데이터 분석

### 3.2.1 OES 데이터 비교를 위한 파장 선택

캐리어 웨이퍼가 있는 조건과 캐리어 웨이퍼가 없을 경우, 동일한 공정조건임에도 불구하고 식각율에 차이가 있음을 SEM 측정을 통해 확인하였다. 즉, 식각 이온과의 반응이 활발하게 일어남을 확인할 수 있으며, 부산물 또한 발생량에 차이를 보일 것이라고 예측한다. 이러한 차이를 OES로 확인하고자 하며, 데이터 상에서 차이가 있는지 비교하였다.

식각공정의 부산물로 발생하는 종으로부터 나오는 특정 파

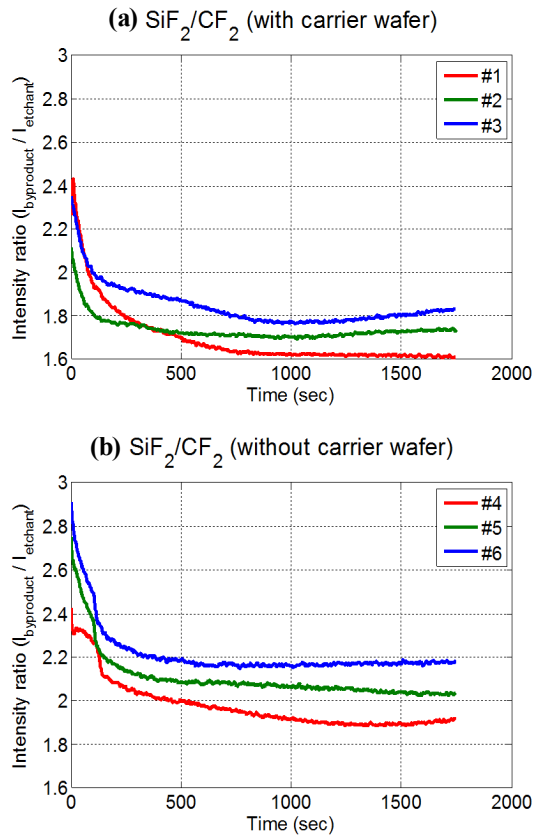


Fig. 5. Intensity of SiF<sub>2</sub>(385.80 nm) and CF<sub>2</sub>(321.40nm) ratio depend on time; (a) with carrier wafer, (b) without carrier wafer.

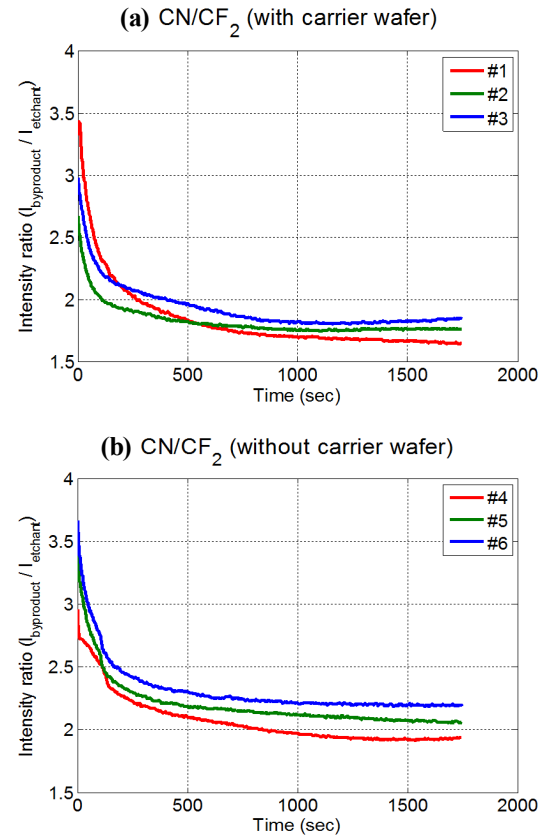
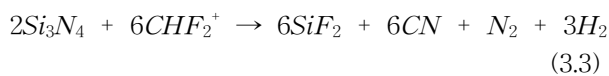


Fig. 6. Intensity of CN(388.49 nm) and CF<sub>2</sub>(321.40nm) ratio depend on time; (a) with carrier wafer, (b) without carrier wafer.

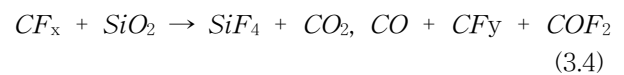
장 선택에 대한 연구는 1970년 이후부터 꾸준히 연구되어 오며, 단일 파장 또는 2개 이상의 파장을 비교하는 방법을 사용한다. 따라서 화학식으로 추정하여 발생 가능한 화학종을 근거로 확인하려는 파장을 선택하였다.



(3.1), (3.2)에서 이온화된 가스는 silicon nitride와 반응하여 1차 식각을 진행한다 [8,9].



Silicon nitride의 식각이 완료되면, 다음으로 silicon oxide와 반응하여 2차 식각을 진행한다 [8,10].



식 (3.3), (3.4)를 근거로 하여, 식각반응에서 발생할 가능성이 가장 높은 화학종을 선택하여 데이터를 비교하였다. 선택한 화학종과 파장은 표 3과 같다.

Table 3. Selected chemicals and wavelength for data comparison.

Byproduct	Wavelength
SiF <sub>2</sub>	385.60 nm
CN	388.49 nm
N <sub>2</sub>	337.19 nm
CO	582.80 nm

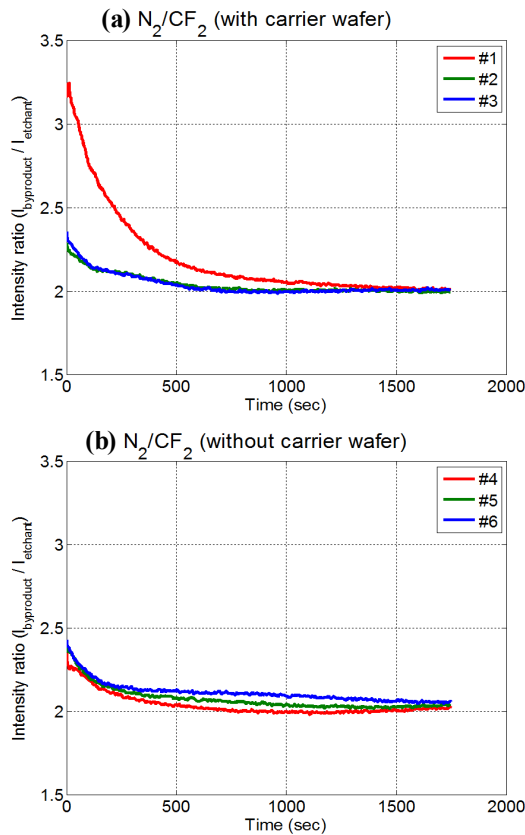


Fig. 7. Intensity of  $N_2(337.19 \text{ nm})$  and  $CF_2(321.40 \text{ nm})$  ratio depend on time; (a) with carrier wafer, (b) without carrier wafer.

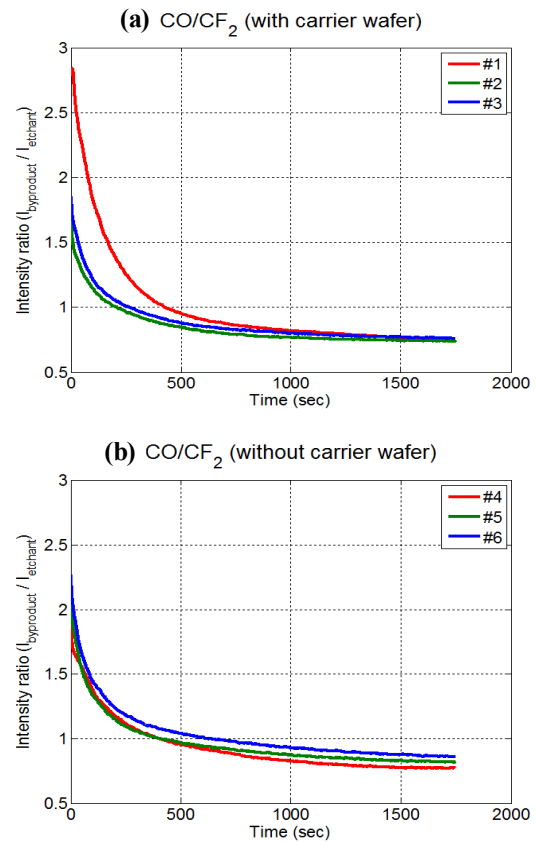


Fig. 8. Intensity of  $CO(582.80 \text{ nm})$  and  $CF_2(321.40 \text{ nm})$  ratio depend on time. (a) with carrier wafer, (b) without carrier wafer.

### 3.2.2 OES 에천트/부산물 데이터의 비교

쿠폰 웨이퍼로부터 발생하는 모든 화학종은 플라즈마의 에너지로 인해 에천트, 부산물 등의 화학종이 들뜬 상태로 여기된다. OES의 파장 중 에천트, 부산물 중을 선택한 후, 두 화학종간의 비율을 확인하였다 [11]. 식 3.2에 근거하여  $CF_2$ 를 화학종으로 선택하였고, 해당되는 파장은  $321.4 \text{ nm}$ 이다. 그림 4는  $CF_2$ 에 해당하는 OES 데이터를 나타내었으며, 그림 5부터 그림 8은 각 실험군 별로 에천트와 부산물에 해당하는 파장의 비율을 그래프로 나타내었다.

에천트와 부산물 중의 세기 비율을 확인해 본 결과,  $SiF_2$ 와  $CN$  종은 캐리어 웨이퍼가 없는 실험군에서 세기 비율이 높게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 두 실험군 모두 같은 파장을 선택하여 비교함을 고려하였을 때, 캐리어 웨이퍼가 없는 군이 상대적으로 더 많은 부산물을 발생시킨다고 추측할 수 있다.

반면  $N_2$ 와  $CO$ 의 경우에는 실험 #1을 제외한 나머지 실험 모두 캐리어 웨이퍼가 없는 실험군이 0.1 정도 세기비율이 더 높게 나타나는 것을 확인하였다. 실험 #1의 경우는 first wafer

effect가 작용하였을 것이라 추측하며, 이후의 데이터 분석에는 제외하였다.

### 3.2.3 OES 데이터 분석 및 결과

OES는 뷰포트 (viewport)로부터 유입되는 광원의 세기를 측정하는 방식으로 정량적인 측정방식이라고는 할 수 없다. 이러한 단점을 보완하기 위해 식각 공정에 반응성이 낮은 아르곤 가스를 소량 포함시켜 공정을 진행한 후, 확인하고자 하는 화학종과 아르곤 가스의 비율을 통해 해당 화학종의 변화를 확인한다 [12]. 그러나 이 실험에서는 아르곤 가스를 사용하지 않아 argon actinometry방법을 적용하기 어려워 패턴의 형태를 비교하는데 사용하는 DTW (dynamic time warping) 알고리즘으로 데이터 간의 차이 정도를 비교하였다.

DTW 알고리즘이란 시간축 상에서의 비선형 신축 비교를 허용하는 패턴 매칭 알고리즘이다. 길이가 다른 두 데이터 간의 거리 척도값을 비용을 설정하여 각 열의 시작 성분부터 끝 성분까지의 최소구간을 점화식으로 선택하여 비교하는 동적계



Table 4. Non-similarity of data pattern using DTW.

Chemistry	Similarity (count)	Non similarity (count)	Percentage of non similarity
SiF <sub>2</sub>	2,235	439	16.41%
CN	988	1,979	66.70%
N <sub>2</sub>	2,241	376	14.36%
CO	2,327	244	9.49%

Table 5. Covariance and correlation coefficient for each cases.

Chemistry	With carrier wafer		Without carrier wafer		With carrier vs without carrier	
	Cov.	Coeff.	Cov.	Coeff.	Cov.	Coeff.
SiF <sub>2</sub>	1,879	0.95	1,768	0.97	2,470	0.96
CN	268	0.69	103	0.56	306	0.81
N <sub>2</sub>	3,165	0.97	3,256	0.98	3,814	0.98
CO	1,289	0.99	1,626	0.98	1,600	0.99

획법이다. DTW는 패턴 인식에서 많이 이용되는 방법으로 시퀀스의 시간 길이를 고려하지 않고 인식할 수 있는 장점이 있기 때문에 음성인식 신호처리에서 많이 사용하는 알고리즘이다 [13].

두 데이터 간의 매칭함수의 궤적은 탐색 과정에서 최소비용을 택하는 경로를 별도로 생성하며, 경로 생성 방법은 다음과 같다.  $i$ 번째 기준 데이터  $q_i$ 와 비교하고자 하는  $j$ 번째 데이터  $c_j$  간의 거리를  $d(i,j)$ 라고 정의할 경우, 두 데이터 간의 누적거리  $D(i,j)$ 는 식 (3.5)와 같이 정의된다.

$$D(i,j) = d(q_i, c_j) + \min(D(i-1, j-1), D(i-1, j), D(i, j-1)) \quad (3.5)$$

이때,  $D(i,j)$ 를 생성하는 과정에서 선택한 최소거리 값의 좌표로 생성한 경로를 warping path라고 일컫는다.

이를 화학중에 따른 OES 패턴 비교에 적용하기 위해 같은 실험군 간의 시간에 따른 평균 열을 구한 후, 실험군끼리 DTW 알고리즘을 적용하였다.

$$\frac{\sum_n^{n-9} (i_n, i_{n+1}, i_{n+2}, \dots, i_{n+8}, i_{n+9})}{10} = i_n \text{ or } \frac{\sum_m^{m-9} (j_m, j_{m+1}, j_{m+2}, \dots, j_{m+8}, j_{m+9})}{10} = j_m \quad (3.6)$$

그 다음 크기가  $n \times m$ 인 누적길이행렬  $D(i,j)$ 로부터 얻은 warping path의 좌표  $w(i_n, j_m)$ 로부터 식 (3.6)을 만족할 경우, 비유사도 (non-similarity)를 1씩 증가시켰다. 반면에 식 (3.6)을 만족시키지 못할 경우에는 similarity를 1씩 증가시켰다.

위 규칙을 4가지 화학중에 대하여 모두 적용하였으며, 그 결과는 표 4와 같다. 또한, 데이터간의 공분산과 coefficient를 비교한 결과는 표 5와 같다. 공분산 수치 비교 결과, CN을 제외한 나머지 화학중에 대해서는 모두 공통적인 경향성을 높게 보임을 확인할 수 있었다.

지금까지 OES데이터로부터 화학중에 따른 세기의 차이, 패턴의 경향성을 모두 확인 해 본 결과, 캐리어 웨이퍼가 없는 경우에 대해 세기가 높게 나타났으며, 특히 실험군끼리 비교한 결과 CN 중이 가장 큰 차이를 보임을 확인하였다. 반면, SEM 결과에서 확인한 바와 같이 캐리어 웨이퍼가 없는 경우에는 overetch가 발생함을 고려하였을 때, silicon oxide etch EPD를 확인하는데 가장 많이 사용하는 CO 파장에서는 예상과 달리 큰 차이를 확인할 수 없었다. 이에 대한 가장 큰 원인으로 캐리어 웨이퍼에 도포한 포토레지스트의 식각으로 인한 CO종의 간섭으로 추측한다.

Positive 포토레지스트의 주요 구성물질로 C, H, O이며, O<sub>2</sub> plasma를 이용한 포토레지스트 제거 공정 시 CO와 CO<sub>2</sub>가 부산물로 생성된다 [14]. 본 실험에서는 불소계열의 가스를 이용하여 식각 공정을 진행하였고, fluorine polymer의 증착으로 인한 식각물의 감소를 줄이기 위해 O<sub>2</sub>가스를 첨가하였다 [15]. 따라서 포토레지스트 제거 반응이 불가피하게 발생하였으며, 이로 인해 OES 데이터 상에서는 캐리어 웨이퍼가 없는 실험군이 over-etch가 일어났음에도 불구하고 두 실험군의 데이터가 가장 낮은 비율의 non-similarity를 나타냈다고 추측한다.

#### 4. 결 론

식각 공정 조건의 최적화에 소모되는 비용을 절감하기 위해 동일한 open area를 가지는 쿠폰 웨이퍼로 대신하여 테스트를

한다. 일반적으로 경험적 방법으로 식각 조건을 찾을 경우에는 open area를 제외한 나머지 영역이 식각반응을 하지 않는다고 가정하지만, OES를 이용하여 식각 공정을 데이터에 이용하여 분석할 경우에는 식각 외 영역 또한 플라즈마와 충분히 반응할 수 있고, 이는 곧바로 데이터에 영향을 줄 수 있음을 고려해야 한다. 따라서 이 논문에서는 쿠폰 웨이퍼를 제외한 나머지 부분을 포토레지스트로 채우기 위해 웨이퍼에 포토레지스트를 코팅하고 쿠폰 웨이퍼 테스트를 진행한 실험군과 쿠폰 웨이퍼만 사용하여 실험을 진행한 실험군을 비교하였다.

SEM 결과와 OES 데이터를 비교한 결과, 캐리어 웨이퍼가 없는 실험군에서 overetch가 발생하였으며, SiF<sub>2</sub>, CN, N<sub>2</sub>, CO 중에 해당하는 OES 처리 전 데이터를 확인한 결과 특히 CN이 데이터 패턴과 세기에서 차이를 보임을 확인하였다. 이로써 식각 외 영역의 물질이 무엇인가에 따라 식각결과에 차이가 있으며, OES 데이터 상으로도 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 차이는 앞으로 OES 데이터의 데이터 전처리를 통한 공정 특성 분석을 통해 두 실험군의 차이가 있는지에 대한 보다 정확한 추가연구가 진행될 필요가 있으며, 패턴 웨이퍼와의 실험 결과의 비교가 진행된다면 OES 데이터를 바탕으로 공정 모니터링 시 고려해야 할 중요한 요소인 신뢰성을 결정하는데 더욱 큰 영향을 미칠 것으로 기대한다.

### 감사의 글

본 연구는 명지대학교 반도체공정진단연구소 (교착중점연구소)의 지원으로 수행되었으며, 명지대학교 Microelectronics Manufacturing Technology Lab. (MMTL) 멤버들의 공정장비 운영 및 기술적 지원에 감사드립니다.

### REFERENCES

- [1] R. R. Schaller, *IEEE Spectrum*, **34**, 6 (1997).
- [2] G. S. May and C. J. Spanos, *Fundamentals of Semiconductor Manufacturing and Process Control* (John Wiley & Sons, New Jersey, 2006).
- [3] R. Doering and Y. Nishi, *Handbook of Semiconductor Manufacturing Technology* (CRC Press, Boca Raton, 2008).
- [4] S. I. Jeon, S. G. Kim, S. J. Hong, and S. S. Han, *Advances in Neural Networks*, **6064**, (2010).
- [5] D. White, B. Goodlin, A. Gower, D. Boning, H. Chen, H. Sawin, and T. Dalton, *IEEE Trans. Semi. Manufac.*, **13**, 2 (2000).
- [6] J. S. Park, M. S. *Thesis*, p. 21, Myongji University, Korea (2008).
- [7] J. Karttunen, J. Kiihamaki, and S. Franssila, *Int. Soc. Opt. Eng.*, **4174**, (2000).
- [8] Y. Zhang, G. S. Oehrlein, and F. H. Bell, *Jpn. Vac. Sci. Tech.*, **A14**, 4 (1996).
- [9] B. D. Pant and U. S. Tandon, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, **19**, 4 (1999).
- [10] N. Omri, H. Matsuo, S. Watanabe, and M. Puschmann, *Surf. Sci.*, **352** (1995).
- [11] J. Chantana, T. Higuchi, T. Nagai, S. Sasaki, Y. Sobajima, T. Toyoma, C. Sada, A. Matsuda, and H. Okamoto, *Phys. Status Solidi*, **A207**, 3 (2009).
- [12] S. Z. Li, W. T. Huang, J. Zhang, and D. Wang, *Appl. Phys. Lett.*, **94**, 111501 (2009).
- [13] G. Kang and S. Guo, *Proc. 9th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*, **1** (2009).
- [14] H. Motomura, S. Imai, and K. Tachibana, *Thin Solid Films*, **390**, 134 (2001).
- [15] C. J. Mogab, A. C. Adams, and D. L. Flamm, *Applied Physics*, **49**, 7 (1978).