

광방출 분석법을 이용한 산화물 식각 장비의 세정 주기 최적화

손길수^{a,c*} · 노용한^a · 염근영^b · 김수홍^c · 김명운^c · 조형철^c

^a성균관대학교 정보통신공학부, 수원 440-746

^b성균관대학교 신소재공학부, 수원 440-746

^c삼성전자 생산기술연구소, 수원 443-742

(2011년 7월 20일 받음, 2011년 10월 25일 수정, 2011년 10월 26일 확정)

이 논문에서 광방출 분석법을 응용하여 반응용기 내부 오염과 특정 파장 크기변화의 관계를 알아보았다. 광방출 분석법을 이용하면 O₂ 플라즈마에서 폴리머가 제거되는 것이 관찰된다. 하지만 광방출 분석법은 외부영향에 의한 노이즈로 분석이 힘들며 다양한 조건에서의 폴리머 제거 상태를 비교하는 건 쉽지 않다. 이를 해결하고자 diff_CO 함수를 정의하고, 여러 경우에서의 diff_CO 함수 변화를 확인하였다. diff_CO 함수는 RF 인가시간이 증가함에 따라 최대값의 크기 감소와 작은 꼭지점 갯수의 증가를 관찰할 수 있으며, 이를 이용하면 반응용기를 열지 않고도 반응용기 내부 오염정도를 파악하여 반응용기 세정 시점을 정할 수 있었다.

주제어 : 광방출 분석법, O₂ 플라즈마, 세정, 식각

I. 서 론

반도체 소자는 미세화가 계속 이루어지고 있다. Critical dimension (CD)이 작아짐에 따라 공정 윈도우가 작아지고, 양산측면 관리항목도 계속 추가되고 있다. 수율 향상을 위해서 양산설비의 각종 파라미터분석은 필수가 되었고 양산설비에 계측시스템 도입이 고려되고 있다. 플라즈마 설비에 사용되는 계측시스템으로는 전기적 진단법과 광학적 진단법을 많이 이용한다. 전기적 진단법으로는 Langmuir probe, V/I probe, Cut-off probe, Wise probe 등이 있다 [1-6]. 전기적 분석은 측정값을 이해하기 위한 많은 이론이 필요하여 분석의 어려움이 많다. 또한 Langmuir probe는 반응용기 내부에 삽입하여 측정하기 때문에 양산설비에 사용할 수 없다. 광학적 진단법으로는 레이저 유도 형광법 (Laser Induced Fluorescence, LIF), 광방출 분석법(Optical Emission Spectroscopy, OES)이 있다 [7-9]. 대부분의 양산설비에는 광방출 분석법을 이용하여 반응용기 모니터링으로 사용되고 있다. 그 중 가장 많이 이용되는 것은 식각장치에서 특정 막질의 식각 완료를 알려주는 end

point detection (EPD)과 반응용기의 누출여부를 모니터링하는 것이다 [10]. 본 논문은 OES를 응용하여 RF 인가시간(RF on time)이 증가함에 따라 반응용기 벽면의 오염이 진행되어 공정 결과(CD, Etch Rate, Uniformity 등)의 변화가 발생하는 시점을 미리 파악해, 반응용기의 wet clean 주기 관리가 가능한지 연구하였다.

II. 식각부산물과 O₂ 플라즈마

1. 공정설비의 부산물 제거

반도체 공정설비는 공정진행과 동시에 부산물이 반응용기 내부에 증착하게 된다. 일부는 반응용기 벽면에 증착하고 일부는 웨이퍼주변 부품에 증착한다. 특히 산화물 식각 공정에서는 부산물이 공정 중에 웨이퍼가 놓이는 ESC (Electric Statistic Chuck) 외각으로 증착하여, ESC와 웨이퍼간 면접촉을 방해한다(Fig. 1).

이는 공정 중에 웨이퍼온도를 제어하기 위해서 He를 웨

* [전자우편] ampella77@naver.com

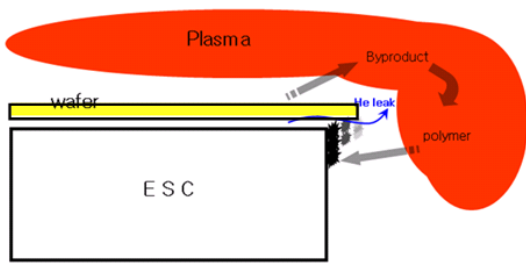
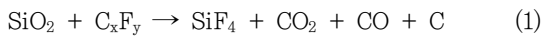


Figure 1. Deposition of byproduct.

이퍼와 ESC 사이에 공급하는데 이때, He의 누출이 발생한다. He 누출은 웨이퍼 외각의 온도제어를 불안하게 하고, 웨이퍼 수율을 저하시킨다. 그래서 공정설비에서 He 누출 모니터가 중요한 파라미터로 인식된다.



SiO₂ 막질을 식각할 경우 C_xF_y 플라즈마를 사용하게 되면(식 1) 반응과정에서 일부 탄소계열은 부산물이 남게 된다. 이 부산물인 폴리머가 주변부품에 증착된다. 이 폴리머를 제거하기 위해 공정 후에 O₂ 플라즈마를 사용한다. O₂ 플라즈마 공정 시 탄소계열 폴리머는 CO, CO₂로 변하여 제거된다(식 2).

반도체 에칭 시스템에서 SiO₂ 식각 공정 후 O₂ 플라즈마를 2회 연속 진행하면서 483 nm 파장을 모니터링하였다(Fig. 2). 483 nm 파장은 CO의 대표파장으로 O₂ 플라즈마 초기에 대부분의 폴리머는 제거됨을 알 수 있다.

양산설비에서는 O₂ 플라즈마를 충분히 긴 시간 동안 진행하지 않는다. 그래서 폴리머의 완벽제거는 어렵다. 특히 ESC 주변 일부의 폴리머는 계속 증착된다. 폴리머의 증착으로 He 누출도 급속히 증가한다.

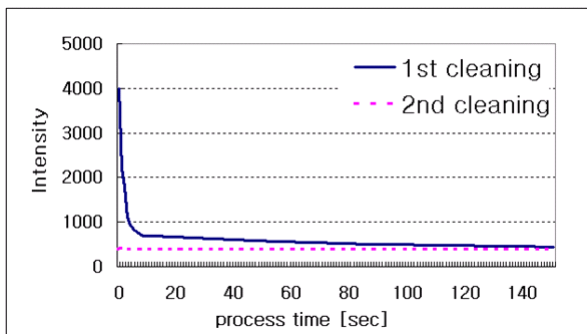


Figure 2. 486 nm intensity change in O₂ plasma.

폴리머가 지속적으로 증가하면 반응용기 상태의 변화로 공정결과가 변하게 되고, 수율 저하를 발생시킨다. 양산설비에서는 이런 문제로 RF 누적시간의 최대치를 설정하고 RF 누적시간이 최대시간에 이르면 반응용기의 wet clean 및 내부 부품을 새것으로 교체한다.

III. 실험

1. 실험구성

식각 공정을 진행 후, 발생한 폴리머의 제거 여부를 확인하기 위해 모니터링이 가능한 OES를 식각장치에 설치하였다.

식각장치는 CCP (Capacitive Coupled Plasma) 구조로 상부 전극에 100 MHz를 인가하고 하부 ESC 전극에는 2 MHz를 인가하는 구조이다(Fig. 3). 모니터링으로 설치한 OES는 Verity SD1024D 모델이다. SD1024D의 측정 파장대는 200–800 nm이며, 분해력은 2 nm이다. CCD는 1,024×128 pixels를 사용한다.

2. O₂ 플라즈마 모니터링을 위한 OES 설정

OES에서 보이는 데이터는 반응용기 마다 다르고 인가되는 RF 파워, 압력, 가스유량에 따라 다르게 변한다. 또한 반응용기와 OES 사이 부품의 오염정도에 따라 광량이 변한다. 외부환경에 따라 변하는 OES 데이터는 절대 비교할 수 없다. 그래서 OES를 이용해 플라즈마를 모니터링 하기 위해서는 데이터의 변환이 필요하다. 다른 외부 변화에서도 OES 데이터를 비교하기 위해서 아래와 같은 함수를 도입한다.

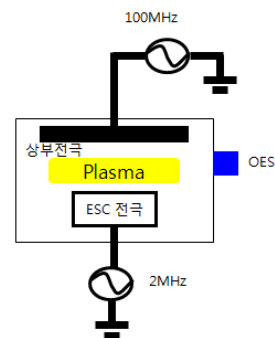


Figure 3. Scheme of etch chamber used in the experiment.

O₂ 플라즈마에서 변화가 미비한 CN파장을 기준으로 변화가 큰 CO파장이 어떤 경향을 나타내는지 알아보기 위해서 diff_CO를 정의하였다(식 3).

$$\text{diff_CO} = (T_CO - T_CN) / T_CN \times 100 \quad (3)$$

diff_CO : CO반응 변화

avCO : 481-485 nm 세기 평균

avCN : 385-389 nm 세기 평균

T_CO : CO의 대표 파장 avCO값의 연속된 10번의 평균

T_CN : CN의 대표 파장 avCN값의 연속된 10번의 평균

또한 반응용기 오염정도를 일정하게 하기 위해 100 Mhz 1,000 [W], 2 MHz 4,000 [w], CF4 300 [sccm], CHF3 300 [sccm], Ar 200 [sccm], O₂ 10 [sccm]을 200 mTorr 압력에서 PR이 증착된 웨이퍼를 반응용기에 넣고 200초 1매씩 진행 후 O₂ 플라즈마 상태를 관찰하였다.

그 결과 diff_CO 함수를 이용하면 OES의 외부 변화를 제거 할 수 있으며, 조건별 폴리머를 제거하는데 소요되는 시간을 판단할 수 있다(Table 1). 조건에 따라 T_CN과 T_CO는 초기 흔들림이 서로 다르다(Fig. 4). 플라즈마가 안정되는 동안 흔들림 때문에 실제 CO반응을 관찰하기 어렵다. diff_CO 함수로 변환된 파장에서는 외부변수에 관계없이 일정한 그래프 변화를 보여주고 있다. 이를 바탕으로 diff_CO값이 절대값 10에 포화(saturation)되는 지점을 폴리머가 제거되어 CO 파장이 거의 나오지 않는다고 정하고 이 시간을 폴리머제거시간으로 정하였다. Table 1은 RF 파워, 압력, O₂ 변화에 따른 폴리머 제거시간을 나타낸다.

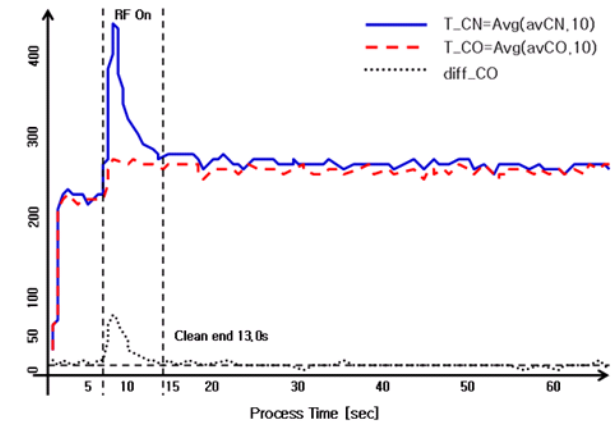
3. RF인가시간 증가에 따른 diff_CO 함수변화

식각공정 진행 후 반응용기 내부에 남은 폴리머는 부품이나 반응용기 내벽에 증착하게 된다. 이후 O₂ 플라즈마로

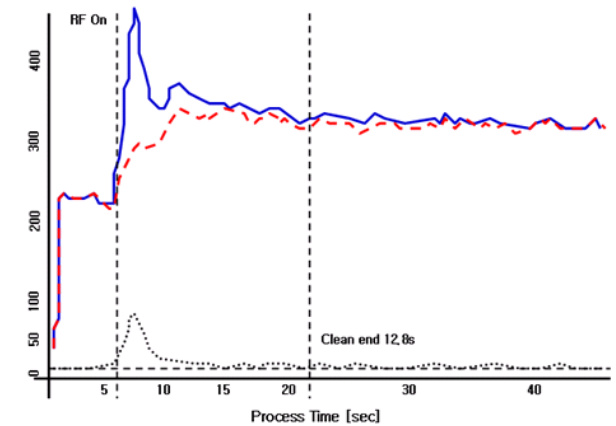
Table 1. CO clean out time depending on O₂ plasma process condition.

Test	pressure [mTorr]	100 MHz [W]	2 MHz [W]	O ₂ [sccm]	CO 제거시간 [sec]
A	300	1,500	0	1,800	13.0
B	200	2,000	0	2,000	12.8
C	200	2,000	30	2,000	13.8

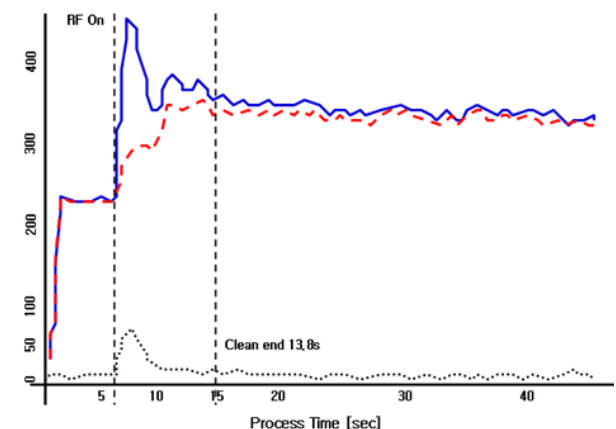
폴리머를 제거하게 되면 대부분의 탄소계열 폴리머는 O₂와 반응하여 CO, CO₂로 배기된다. 하지만 일부는 반응용기 내부에 남거나 다른 형태가 되어 증착하게 된다. 이 폴리머로 인해서 반응용기 내부는 오염되고 하드웨어적 불안 요



(a) 조건 A



(b) 조건 B



(c) 조건 C

Figure 4. OES intensity of Test A, B, C.

소가 되거나, 공정수율을 저하시킨다. 특히 ESC주변에 증착된 폴리머는 웨이퍼와 ESC 사이에 He의 누출 지점을 만든다. He은 웨이퍼와 ESC 사이 열전달매체로 누출발생은 웨이퍼 외각부의 온도제어 실패로 수율저하의 원인이 된다. 양산설비에는 이런 사고를 방지하기 위해서 RF 인가시간의 최대치를 일괄적으로 설정하여, 그 시간에 도달하면 반응용기를 열어 내부 파트를 wet clean하고 일부 파트는 새것으로 교체한다. 이때 적용되는 최대치는 오염정도가 가장 심한 반응용기 기준이므로 비효율적이다.

Fig. 5는 RF 인가시간이 증가함에 따른 OES 변화와 He 누출량을 기록하였다(Table 2). RF 인가시간이 증가함에 따라 diff_CO의 최대값은 점점 낮아지고, 작은 꼭지점은 점점 많아지고 있다. 이는 시간이 지날수록 CO의 반응이 떨어지고, 일정 시간이후는 O₂ 플라즈마에서 CO의 반응을 거의 찾아보기 힘들다. CO의 파장이 점점 작아짐에 따라 상대적으로 노이즈성분이 커지면서 작은 꼭지점이 더 많아진다. 그리고 diff_CO 파장이 14보다 작아지는 지점에서 He 누출

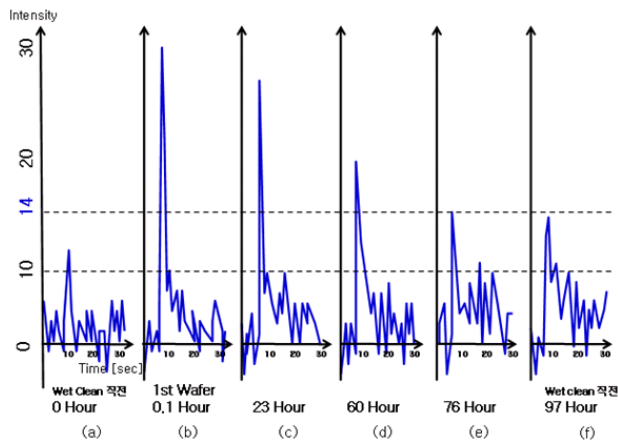


Figure 5. diff_CO trend due to increasing RF on-time.

Table 2. diff_CO and He leak trend due to increasing plasma on time.

	RF on time [Hour]	diff_CO Max peak	Clean out [sec]	He leak [sccm]
a	0	11	-	0.3
b	0.1	30	10.1	0.4
c	23	28	9.8	0.4
d	60	20	12.2	0.6
e	76	14	9.8	0.6
f	97	13.8	10.7	2.5

량이 급격히 커졌다. 이를 이용하면 반응용기를 열어보지 않고도 반응용기 내부의 오염정도를 판단할 수가 있다.

OES는 O₂ 플라즈마 반응 여부를 확인하는 단순한 기능에서 diff_CO를 이용하면 Wet clean시점을 파악할 수 있다.

RF 인가시간이 증가함에 따라 diff_CO 함수의 최대값의 감소함을 활용하면 일괄적으로 Wet clean 시기를 정하지 않아도 된다. 이는 각각의 반응용기마다 Wet clean 시점을 최적화 할 수 있어, 반응용기의 사용시간을 극대화한다.

IV. 결 론

본 논문은 CCP 반응용기에서 공정 후 잔존하는 탄소 계열의 폴리머를 제거하기 위해 OES를 이용하여 O₂ 플라즈마를 연구했다. OES에서 CO반응을 확인하여 폴리머가 제거됨을 알 수 있다.

또한 외부 노이즈 제거와 외부변화에 둔감하게 CO반응을 알 수 있는 diff_CO 함수를 정의하였고, diff_CO 함수를 통해서 그 변화가 거의 없어지는 지점을 폴리머가 제거되는 시점으로 판단하였다.

그리고 RF 인가시간이 증가함에 따라 diff_CO 함수의 변화를 관찰하여 반응용기를 열지 않고 내부 오염정도를 판단할 수 있게 되었다.

본 연구를 통해서 O₂ 플라즈마에 대한 이해와 반응용기 오염과 OES변화의 관계를 알게 되었고 이를 이용하여 반응용기 wet clean 시점을 RF인가 최대시간 관리가 아닌 좀 더 효율적 관리가 가능함을 확인하였다.

참고문헌

- [1] J. C. Lee and Y. J. Kim, J. Korean Vacuum Soc. **17**, 189 (2008).
- [2] J. S. Kim, G. H. Kim T. H. Chung, G. Y. Yeon, and K. H. Kwon, J. Korean Vacuum Soc. **9**, 428 (2000).
- [3] S. H. Jang and M. H. Lee, J. Korean Phys. Soc. **55**, 1869 (2009).
- [4] K. H. Baek and Barry Coonan, *Process and Chamber Health Monitoring of Plasma Enhanced*

- Ti Deposition Process through High Performance VI Probe* IEEE ISSM 2007, 1 (2007).
- [5] H. H. Kim, Applied Phys. lett. **83**, 4725 (2003).
- [6] M. H. Kim, J. Appl. Phys, **101**, 033305 (2007).
- [7] M. V. Malushev and N. C. M. Fuller, Applied Physics letters **74**, 1666 (1999).
- [8] K. H. Beak, Japanese Journal of Applied Physics, **38**, 5829 (1999).
- [9] Y. K. Lee and C. W. Chung, J. Appl. Phys, **109**, 013306 (2011).
- [10] 편승철, 권준혁, 신재수, 성대진, 김정형, 유신재, 신용현, *플라즈마에서 OES를 통한 Leak 발생 감지기술* Proc. Korean Vacuum Society Conference. 271 (2008).

Optimizing Cleaning Period of Oxide Etcher Using Optical Emission Spectroscopy

Gil Su Son^{a,c*}, Yong Han Roh^a, Geun Young Yeom^b,
Su Hong Kim^c, Myoung Woon Kim^c, and Hyung Chul Cho^c

^a*School of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746*

^b*School of Advanced Materials Science & Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746*

^c*Manufacturing Tech. Center, Samsung Electronics Co. Ltd, Suwon 443-742*

(Received July 20, 2011, Revised October 25, 2011, Accepted October 26, 2011)

In this paper, the relationship of chamber contamination and the intensity change of specific wavelength was investigated. “diff_CO” formula was introduced to rule out background noise caused by external conditions and to detect when the polymer is removed from the chamber. As RF time increased, diff_CO trend showed the decrease of the maximum peak and increased number of small intensity peaks. From the diff_CO change, it was possible to determine when the chamber needs to be cleaned without opening the chamber.

Keywords : Optical emission spectroscopy, O₂ plasma, Cleaning, Etch

* [E-mail] ampella77@naver.com