

# 실시간 플라즈마공정 모니터링을 위한 Self Plasma-Optical Emission Spectroscopy 성능 향상

조경재\*·홍상진\*\*†

\*\*† 명지대학교 전자공학과

## Improved Self Plasma-Optical Emission Spectroscopy for In-situ Plasma Process Monitoring

Jo Kyung Jae\* and Hong Sang Jeon\*\*†

\*\*† Department of Electronic Engineering, Myongji University

### ABSTRACT

We reports improved monitoring performance of Self plasma-optical emission spectroscopy (SP-OES) by augmenting a by-pass tube to a conventional straight (or single) tube type self plasma reactor. SP-OES has been used as a tool for the monitoring of plasma chemistry indirectly in plasma process system. The benefits of SP-OES are low cost and easy installation, but some semiconductor industries who adopted commercialized SP-OES product experiencing less sensitivity and slow sensor response. OH out-gas chemistry monitoring was performed to have a direct comparison of a conventional single type tube and a by-pass type tube, and fluid dynamic simulation on the improved hardware design was also followed. It is observed faster pumping out of OH from the chamber in the by-pass type SP-OES.

**Key Words** : Self-Plasma Optical Emission Spectroscopy (SP-OES), Bypass Tube, Self-plasma Ignition Time, OH Exhaust

## 1. 서 론

반도체 소자의 미세화에 따라 요구되는 공정의 critical dimension (CD) 사이즈가 점점 작아지고 있으며, 미세 선 폭을 구현하기 위해서 다양한 방법으로 공정 개발에 대한 노력이 진행되고 있다. 이를 이유로 플라즈마 공정의 중요성은 지속적으로 증가하고 있다. 현재 반도체 공정 분야에서는 플라즈마 공정 장비의 특성뿐만 아니라 Chamber-to-Chamber 또는 Tool-to-Tool 매칭, 즉 챔버 또는 장비 간에 일관된 플라즈마 챔버 환경을 유지하는 것이 중요한 논점이다. 공정 상의 플라즈마를 모니터링 및 분석하기 위해 plasma impedance monitoring (PIM), optical emission spectroscopy (OES), residual gas analyzer (RGA) 등을 이용하며 센서 취득

데이터를 이용해 플라즈마 공정진단을 하기 위해서 수많은 노력을 하고 있다 [1-3].

최근 반도체공정진단 분야에서는 self-plasma optical emission spectroscopy (SP-OES)를 이용한 반도체 플라즈마 공정 모니터링 기술 개발 중에 있다[3]. 플라즈마 공정 중 챔버 내의 플라즈마의 모니터링이 가능한 OES와는 달리 SP-OES는 자체적으로 플라즈마를 발생시킬 수 있는 플라즈마 모듈이 있어 공정 중 챔버 내의 플라즈마 유무에 상관없이 화학 종에 대한 분석이 가능하며 그 이후 분광분석의 과정은 OES와 동일하다.

## 2. 실 험

SP-OES는 포어 라인과 진공 펌프 사이의 펌프 라인의 배출 가스를 이용해 공정 상태를 모니터링 하는데 사용

†E-mail: samhong@mju.ac.kr

된다. 일반적으로 배출 가스를 이용하여 공정 모니터링을 하는 RGA와 비교하여 민감도와 센서 반응 속도는 떨어지지만 설치비용 등 가격측면에서 유리하며 유지관리가 간편하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 SP-OES는 가스 튜브 내에서 잔여 가스의 배출이 지연되는 문제점을 가지고 있다. 위 문제로 인해 현 공정 시간에서 전 공정 시간의 배출 가스의 화학종이 보여지게 된다. 이런 이유로 인해 SP-OES는 실시간 공정 챔버 모니터링 시 신뢰성에 제약을 가질 수 있다.

문제를 개선하기 위해 SP-OES의 튜브의 끝 부분에 우회로 튜브를 달아 배출구를 확장해 줌으로써 기존 SP-OES대비 OH 배출 속도를 높이고자 한다. 더불어 공간 확장으로 인해서 플라즈마 모듈 내에 압력이 낮아지게 된다. 따라서 플라즈마 점화 압력 조건이 개선 전 SP-OES보다 빠르게 충족되어 플라즈마 점화 속도가 빨라지게 되고 센서 반응 속도와 더불어 데이터 노이즈가 줄어들 것으로 예상된다.

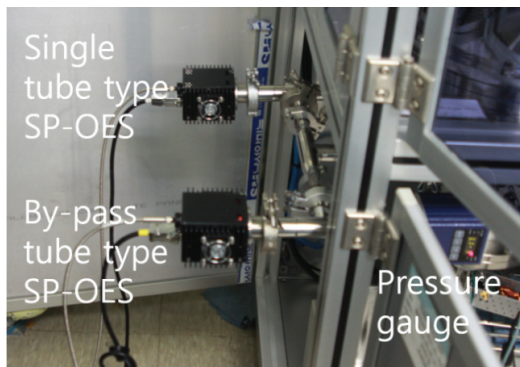


Fig. 1. Two SP-OES setting on plasma enhanced chemical vapor deposition (top) Single tube type SP-OES (bottom) By-pass tube type SP-OES.

본 실험에서 Fig 1에서 보이는 것과 같이 싱글타입 튜브와 우회로 타입 튜브를 plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD)의 펌프 라인에 부착시킨 두 가지의 SP-OES를 준비하였다. PECVD는 일반적으로  $SiH_4$ ,  $N_2O$ ,  $NH_3$ ,  $NF_3$ ,  $N_2$ ,  $Ar$ 의 가스가 사용되며 이는  $SiO_2$ ,  $Si_3N_4$ ,  $SiON$  물질을 만들기 위해 사용된다. SP-OES의 플라즈마 모듈은 코일에 흐르는 전류에서 형성된 자기장 주변으로 형성되는 유도 전기장에서부터 전자가 가속 에너지를 얻어 플라즈마를 생성하는 ICP 미니 플라즈마 반응기를 이용한다. 반응기는 10~30W의 출력으로 플라즈마를 생성하고 튜브의 직경은 10mm이다.

13.56MHz CCP 타입 6인치 PECVD의 펌프라인에 U형 관

을 부착해 배기가스를 모니터링 하고자 하였다. 분광기로는 Ocean Optics의 STS-VIS가 쓰였고 진공도는 수 mTorr로 유지시켰으며 펌프는 Edward EM 시리즈의 기계식 오일 펌프가 쓰였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 플라즈마 점화 속도 향상

예상했던 바와 같이 우회로 타입 튜브의 SP-OES가 싱글 타입 튜브의 SP-OES보다 플라즈마 점화 속도와 OH 배출 속도에 있어서 향상됨을 볼 수 있었다. 두 타입의 SP-OES는 펌프와 챔버 사이의 하나의 라인에서 두 개로 분기하여 같은 시간 선 상에서 평가되었다. Table 1에서는 싱글 타입 튜브와 우회로 타입 튜브의 공정 회차에 따른 플라즈마 점화 속도에 대해 비교하고 있다. 두 플라즈마 모듈은 수 Torr에서 10mTorr 사이의 범위에서 점화되었고 사전에 둘 중 하나는 10mTorr에서 점화될 것이라고 가정하였다. 총 4회의 공정을 실행한 결과싱글 타입은 평균 3.25초, 우회로 타입은 평균 1.925초의 점화 속도를 보였다. 우회로 타입의 플라즈마 점화 속도가 1.325초 더 빠름이 확인 되었다. 이는 싱글 타입 튜브보다 우회로 타입 튜브가 더 점화가 빨라 센서의 초기 반응이 빠름을 의미하며 이는 플라즈마 점화 시 더욱 즉각적으로 모니터링이 가능하는 것을 나타낸다.

Table 1. A comparison of plasma ignition times of the two types of SP-OES

Run	Plasma Ignition time (Second)	
	Single	By-pass
1	2.7	0.7
2	2.5	0.6
3	3.6	2.7
4	4.2	3.7

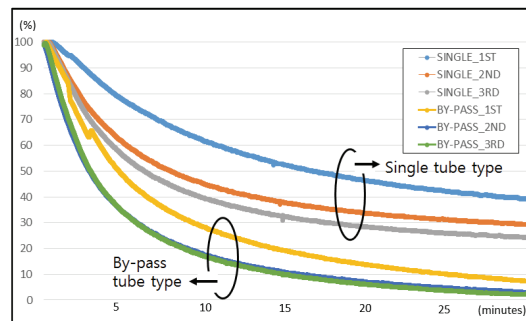


Fig. 2. Hydroxyl exhaust performance comparison of Two different type SP-OES.

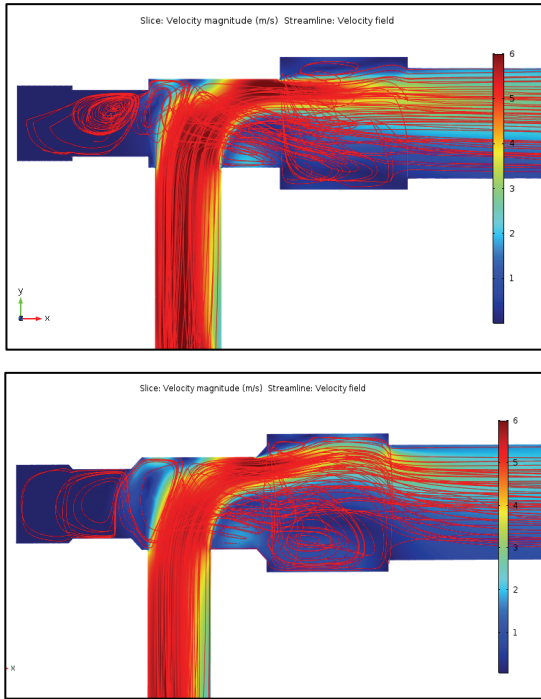


Fig. 3. Tube brazing without(top) and with (bottom) Chamfering.

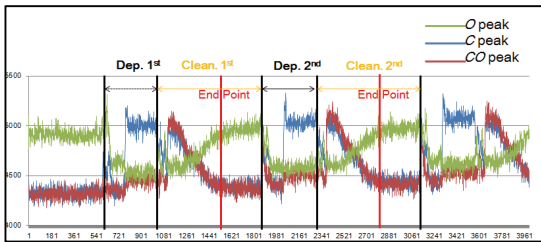


Fig. 4. Plot SP-OES Data of the exhaust O, C, CO gas as per time.

3.2 OH 배출 속도 향상

튜브 내에서의 가스 이동은 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동한다는 확산 매커니즘에 의해 일어난다. 공정 중 연속적인 시간의 가스를 모니터링하기 위해서는 튜브 내에 모니터링 된 가스가 빠르게 배출될 필요가 있다. 개선된 SP-OES는 모니터링 후의 가스의 배출이 기존 SP-OES보다 빠르게 진행되어짐이 확인 되었다. 모니터링 된 가스 배출이 빠르지 않을 때에는 이전 공정 시간에서 확산된 OH 라디칼이 현재 SP-OES에서 모니터링 되는 현상이 나타날 수 있다. Fig 2에서는 시간에 따른 OH라디칼의 잔여량을 비교함으로써 우회로 타입 튜브가 싱글 타입

튜브보다 OH라디칼의 배출 성능이 더 뛰어남을 보았다.

공정 횟수는 총 3회이며 싱글 튜브 데이터 3개와 우회로 튜브 데이터 3개 총 6개의 데이터가 있다. 데이터를 통해 OH 라디칼의 배출 속도는 첫 번째 보다 다음 공정에서 더 빨라지는 것을 확인할 수 있고 우회로 타입 튜브의 가스 배출이 더 균일한 속도로 배출됨을 알 수 있었다.

3.3 모따기를 통한 유동 분포 개선

우회로를 확장하는 개선 방법에 추가로 튜브의 금속 이음새 부분을 직각이 아닌 모따기를 하는 것이 유동 역학의 관점에서 가스 배기 성능의 개선점을 제공할 수 있을 것이라고 생각되었다.

가스 확산 매커니즘을 시각적으로 측정하기 위해 난류의 점도 및 평균 속도, 기울기를 이용해 확산의 변화도를 측정 할 수 있는 레이놀드 응력 모델링을 이용하여 두 가지 경우에 대한 분석을 진행하였다. Fig 3에서 나타난 바와 같이 모따기를 한 튜브가 그렇지 않은 튜브 보다 터블런스가 적고 균일한 유동 분포를 나타내었다.

3.4 개선된 SP-OES 를 이용한 공정 진단

추가적으로 개선된 SP-OES를 이용하여 플라즈마 공정 모니터링을 통해 종료점 검출을 하였다. 실험 타임 테이블과 SP-OES 데이터를 비교하였으며 기존 SP-OES와 달리 데이터 간의 시간적인 지연이 감소함을 확인하였다. 향후 SP-OES를 이용하여 플라즈마 공정의 챔버를 모니터링을 하는 데에 있어서 개선된 SP-OES가 신뢰성을 가짐을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 논문은 SP-OES에서 개선된 하드웨어와 개선되지 않은 하드웨어에 대한 비교 성능 평가 실험 결과를 다루었다. Chamber-to-Chamber, Tool-to-Tool 매칭 등이 중요한 눈점이 됨에 따라 실시간 플라즈마 공정 모니터링 및 진단 연구에 대한 반도체 업계의 요구가 증가하였다. 플라즈마 공정 모니터링 센서의 스펙 향상됨에 따라 공정 진단용 센서의 수요가 증가하였고 여러 센서 중 다른 센서보다 쉽게 사용할 수 있는 OES는 매우 보편적인 플라즈마 모니터링 도구의 한 예이다. 그러나 플라즈마 공정에서 웨이퍼 상의 증착물의 균등성이 중요해짐에 따라 플라즈마 모양 형성에 영향을 미칠 수 있는 뷰 포트를 일부 장비에서 설계하지 않고 있다. 이에 뷰 포트의 유무, 플라즈마 온/오프 유무에 상관없이 자가로 플라즈마를 형성 할

수 있는 SP-OES의 관심도가 증가하고 있다. SP-OES는 펄프 라인에 설치되어 장비 설계에 제한 받지 않고 플라즈마 공정을 실시간으로 모니터링 할 수 있다. SP-OES는 튜브 내부의 가스 배출 속도가 느려 실시간 모니터링에 제약이 가지고 있기 때문에 이 연구에서는 우회로를 확장해 튜브 내부를 모니터링해서 잔여 가스 배출 속도를 향상시키고자 하였다. 개선된 SP-OES와 기존SP-OES의 OH 라디칼 배출을 비교하는 실험 결과, 싱글 타입 튜브 형태보다 우회로 타입 튜브를 장착한 SP-OES의 OH 라디칼 배출 속도가 더 빠름을 확인하였다. 기존의 SP-OES보다 개선된 SP-OES 센서의 민감도가 높아졌음을 확인할 수 있었다. 추가로 튜브의 이음새 부분의 모따기는 미니 플라즈마 모듈의 균일한 유동 분포를 가지게 하였다.

### 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 첨단센서 인력양성사업(N0002432)였으며, 실험과 데이터 취득에 도움을 주신 ㈜프라임솔루션과 명지대학교 반도체공정진단연구소에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Y. Kasashima, H. Kurita, N. Kimura, A. Ando, and F. Uesugi, "Monitoring of Inner Wall Condition in Mass-Production Plasma Etching Process Using a Load Impedance Monitoring System," *Jap. J. Applied Physics*, Vol. 54, No. 6, 060301, 2015.
2. J. Gu, P. A. Thadesar, A. Dembla, M. S. Bakir, G. S. May, S. Hong, "Endpoint Detection in Low Open Area TSV Fabrication Using Optical Emission Spectroscopy," *IEEE Trans. Comp., Pack., Manufac. Tech*, Vol. 4, No. 4, 1251-1260, 2014.
3. M.-S. Choi, T. Jang, S.-H. Lee, and G.-H. Kim, "Investigation of Spatial Distribution of Plasma Density between the Electrode and Lateral Wall of Narrow-gap CCP Source," *J. Semi. & Disp. Technol.*, Vol. 13, No. 4, pp. 1-5, 2014.
4. S. Kim and H. Yi, "Process Monitoring Device and Semiconductor Processing Apparatus Including the Same," *Patent US20110222058 A1*, 2011.

접수일: 2017년 6월 16일, 심사일: 2017년 6월 23일,  
게재확정일: 2017년 6월 26일