

산업용 플라즈마 장비의 웨이브릿 감시

김수연*, 김병환*, 손종원**, 한정훈**, 서승훈**

*세종대학교, **주성엔지니어링

초록

본 연구에서는 웨이브릿 기법을 응용한 플라즈마 장비를 감시하는 기법을 보고한다. 소자제조업체에서 가동중인 플라즈마 증착장비에서 센서정보를 수집하였으며, 이를 이산치 웨이브릿을 이용하여 변환 시킨 후, 민감도 측정을 위해 고안된 메트릭 (Metric)을 적용하였다. 총 18개의 센서정보에 대하여 민감도를 계산하였으며, 민감도는 21-300% 범위에서 증진하였다. 특히 센서패턴을 제외하고는 Raw 데이터에 비해 75% 이상의 민감도를 향상시켰으며, 이는 본 기법이 플라즈마 센서정보의 고장에 대한 민감도를 증진하는데 효과적임을 보여준다.

1. 서론

플라즈마 공정은 반도체 소자제조를 위한 박막의 증착과 패터닝 (Patterning)에 핵심적으로 이용되고 있다. 플라즈마는 공정변수 (소스전력, 압력 등)에 매우 민감하게 반응을 한다. 챔버 내로 전달되는 공정변수에 이상 (Anomaly)이 발생할 경우 플라즈마 상태가 달라지며, 이에 따라 챔버 (Chamber) 내에 발생하는 플라즈마 밀도, 전자온도, 플라즈마 전위, 그리고 라디칼 농도가 변화하게 되고, 이는 공정특성 (예컨대, 식각률, 균일도, 증착 두께, 박막 균일도)의 변화를 초래하게 된다. 플라즈마 특성의 변화는 제조되는 공정의 질 (Quality)을 저하시키며, 이는 소자수율의 저하로 이어져 소자제조업체에 막대한 손실을 초래하게 된다. 나아가서, 플라즈마 이상이 적시에 탐지가 안 될 경우, 장비의 가동이 중단되는 상황도 초래될 수 있으며, 이는 소자생산성을 줄이는 주요 이유가 되고 있다. 따라서, 소자생산성과 수율의 확보를 위해서는 플라즈마 공정을 엄격히 감시하는 기법이 요구되고 있다.

플라즈마 감시는 주로 in-situ 센서인, Optical emission spectroscopy [1], RF 임피던스 센서 [2], 그리고 RF 정합망 감시 [3]등을 통해 이루어져왔다. 플라즈마 고장은 서서히 진행을 하며, 이에 따른 센서정보의 변화가 미미하여 고장이 진전되고 있는 상황을 판단하기가 매우 어렵다. 따라서 센서정보의 미미한 변화를 감시하기 위한 기법의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 이산치 웨이브릿 변환기법 (Discrete Wavelet Transformation-DWT)을 이용하여 장비 센서정보를 감시하는 기법을 소개한다. 본 기법은 산업용 플라즈마 증착장비에서 수집된 센서정보에 적용하여 평가를 하였다. 고장에 대한 민감도 평가를 위해, 이전에 발표한 메트릭 (Metric) [4]을 적용하였다.

2. 실험 방법

플라즈마 고장에 대한 민감도는 이전에 보고된 메트릭을 이용하였다 [4]. 퍼센트 민감도 (PS)는 다음과 같이 정의된다.

$$PS_{(j+\Delta j, j)} = \frac{\sum_{i=1}^k |x_{(i, j+\Delta j)} - x_{(i, j)}|}{\sum_{i=1}^k |x_{(i, j)}|} \times 100(\%) \quad (1)$$

식 (1)에서와 같이, PS는 i 번째의 센서정보의 j 번째 요소, 즉 $x(i, j)$ 에서 Δj 만큼 변화했을 때의 두 센서정보간의 민감도를 의미한다. k 는 샘플링된 센서정보의 수를 의미하며, 본 연구에서는 16으로 설정하였다.

민감도 평가를 위해 #35과 #36파일의 PRE-DEPO단계에 대한 18개의 정보에 대해 DWT를 적용하였다. 단 #7번 센서정보의 경우 민감도 수치가 다른 센서정보에 비해 너무 커 비교대상에서 배제하였다. 비정상적인 민감도는 해당 패턴에 1-2개의 비정상적인 값이 존재하면서 발생된 것으로 확인되었다. 또한, 모든 데이터가 0으로 구성된 정보는 DWT 변환을 위해 편의상 0.001로 변경시켜 주었다.

3. 실험결과 및 고찰

DWT의 변환인자인 Daubechies type을 1로 설정하고, Scale level을 1-3으로 변화시키며, 민감도를 계산하였으며, 그 결과가 그림 1-3에 도시되어 있다. 그림 1-3에서와 같이 Raw 데이터와 웨이브릿 변환된 데이터에 (1)의 메트릭을 적용하여 민감도를 계산하였다.

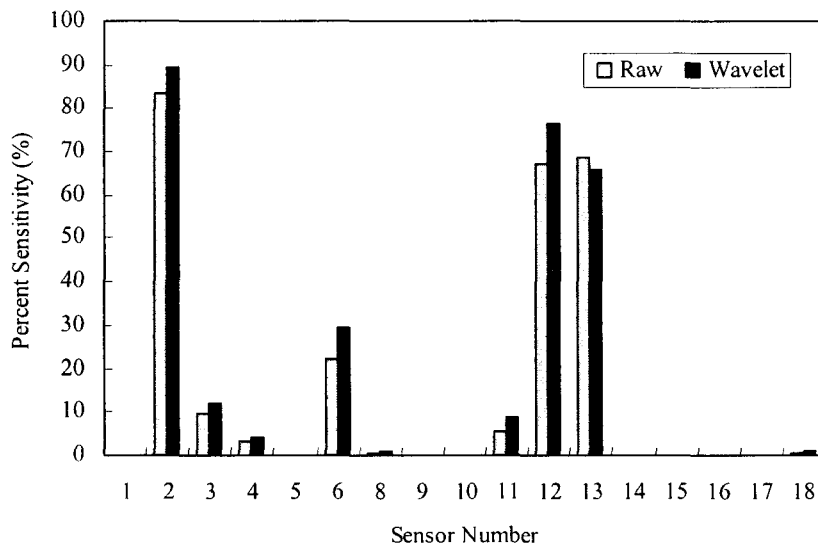


그림 1. 센서정보에 대한 민감도 (DBT=1, S=1)

그림 1에서와 같이 총 9개의 이상 패턴을 탐지하고 있으며, #4, #8, #18 센서정보에 대한 민감도는 매우 작음을 확인할 수 있었다. 그림 1-2에서와 같이, S=1과 2의 경우, 다른 7개의 센서 정보는 그 변화를 탐지하기에 충분한 민감도를 보이고 있으며, 이들에 대해 #13에 해당하는 센서 정보를 제외하고는 DWT 변환정보가 더 높은 민감도를 보이고 있다. 그림 3에서와 같이 S=3일 경우, 그림 3에서와 같이 모든 센서정보에 대하여 DWT 정보가 더 높은 민감도를 보이고 있으며, 각각의 센서에 대한 민감도도 일반적으로 더 높은 수치를 보이고 있다. 결국, s=3에서 최고의 민감도를 확보할 수 있었다.

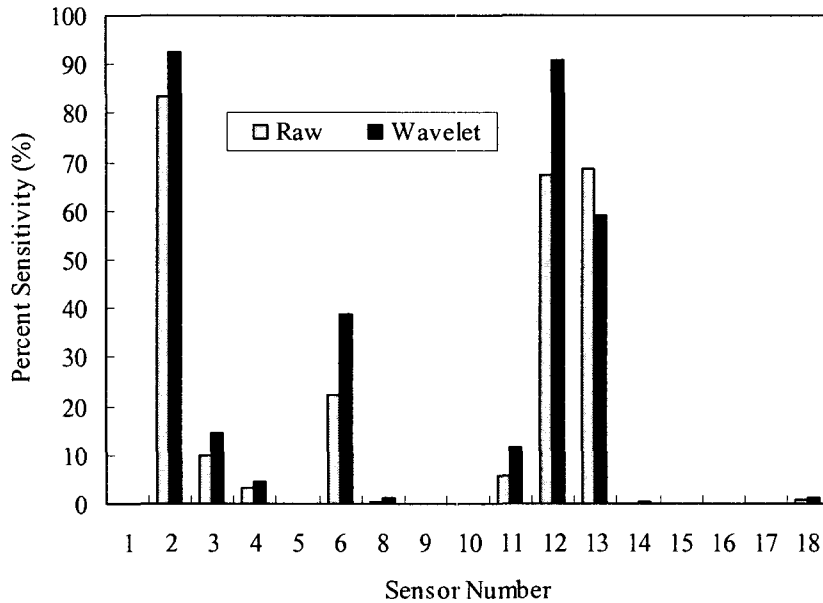


그림 2. 센서정보에 대한 민감도 (DBT=1, S=2)

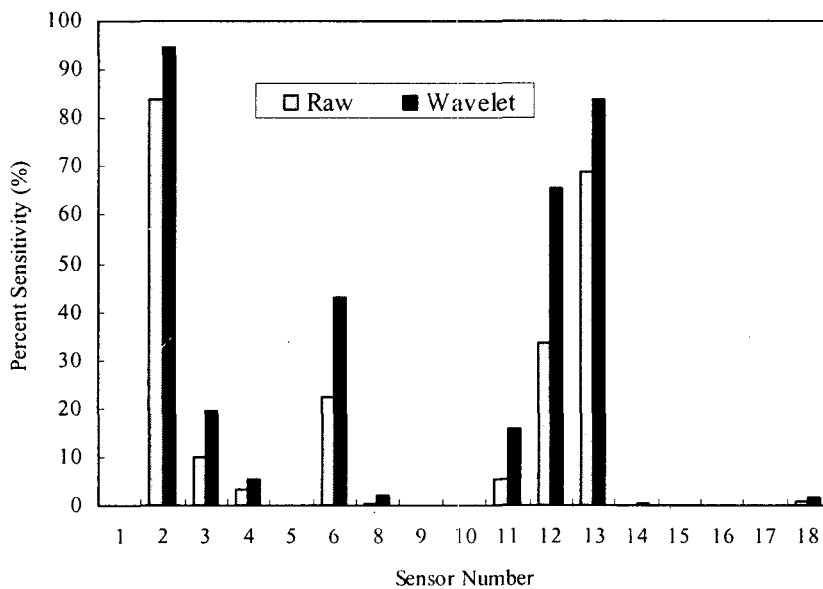


그림 3. 센서정보에 대한 민감도 (DBT=1, S=3)

한편, 그림 3에서 그 민감도가 나타나는 9개의 센서정보에 대해, Raw 데이터 대비 DWT 데이터의 민감도의 증분을 계산하였으며, 21.6%-300%의 범위에서 변화였다. #13센서정보에 대해서 가장 작은 21.6%의 변화가 있었으며, 이 센서정보를 제외한 나머지 8개의 센서정보에 대한 상대적인 증분은 75% 이상이었다. 이 같은 결과는 DWT가 플라즈마 고장 감시에 효과적으로 적용할 수 있음을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 웨이브릿 기법을 적용한 플라즈마 고장 감시기법을 보고하였다. 본 기법은 소자제조업체에서 가동중인 플라즈마 증착장비에서 수집한 센서정보에 적용하여, 그 성능을 평가하였다. 평가결과, 특히 패턴센서를 제외하고는 대략 75% 이상의 민감도를 증진시켰다. 이 결과로 미루어, 본 기법은 미미한 플라즈마 고장을 고민감도로 탐지할 수 있음을 기대할 수 있으며, 이에 따라 수행되는 공정의 Quality 의 확보와 소자 생산성의 향상에 기여할 수 있으리라 판단된다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 System IC 2010 (시스템직접반도체 기반기술개발) 사업과 ITRC 의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] J. O. Stevenson, P. P. Ward, M. L. Smith, R. J. Markle. A plasma process monitor/control system, Surface and Interface Analysis, vol. 26, 124 (1998).
- [2] s. Bushman, T. F. Edgar, I. Trachtenberg, Radio frequency diagnostics for plasma etch systems, SPIE vol. 2336, 1994.
- [3] B. Kim, C. J. lee, Monitoring plasma impedance match characteristics in a multipole inductively coupled plasma for process control, J. Vac. Sci. Technol. A, vol. 18, no. 1, 58 (2000).
- [4] B. Kim and W. Choi Using wavelet filtering for monitoring plasma conditions, Solid State Technology, vol. 44, no. 11, pp. 73-81, 2001.