

플라즈마 진단을 위한 Scanning Electron Microscope Image 의 신경망 인식 모델

Neural Network Recognition of Scanning Electron Microscope Image for Plasma Diagnosis

고우람*, 김병환**

Wooram Ko, Byungwhan Kim

Abstract - To improve equipment throughput and device yield, a malfunction in plasma equipment should be accurately diagnosed. A recognition model for plasma diagnosis was constructed by applying neural network to scanning electron microscope (SEM) image of plasma-etched patterns. The experimental data were collected from a plasma etching of tungsten thin films. Faults in plasma were generated by simulating a variation in process parameters. Feature vectors were obtained by applying direct and wavelet techniques to SEM images. The wavelet techniques generated three feature vectors composed of detailed components. The diagnosis models constructed were evaluated in terms of the recognition accuracy. The direct technique yielded much smaller recognition accuracy with respect to the wavelet technique. The improvement was about 82%. This demonstrates that the direct method is more effective in constructing a neural network model of SEM profile information.

Key Words :Plasma Diagnosis, Scanning Electron Microscope, Neural Network, Recognition

1. 서론

플라즈마는 집적회로 제조를 위한 미세 박막의 증착과 식각에 핵심적으로 이용이 되고 있다. 공정의 질 (Quality)을 높이고 장비가동률을 증진하기 위해서는 플라즈마에 대한 엄격한 감시와 진단이 요구된다. 플라즈마는 주로 Optical Emission Spectroscopy (OES) [1], Impedance 센서 [2], 정합망 감시시스템 [3]과 같은 In-situ 진단기기로 수집한 데이터를 감시한다. 한편, 플라즈마 공정후에 수집되는 박막표면상의 정보를 플라즈마 상태를 감시하고 진단하는 중요정보가 은닉되어 있으며, 따라서 이를 이용한 감시/진단기술의 개발이 요구된다. 공정후 표면정보를 수집하는데 이용하는 대표적인 측정기구는 전자주사현미경 (Scanning Electron Microscope-SEM)이 있으며, 패턴 측면 프로파일 (Profile) 영상을 수집한다. 현재 고밀도 플라즈마의 사용으로 공정조건에 따라 프로파일 표면상태가 민감하고 복잡하게 변화하며, 따라서 이 변화를 추적함으로써 플라즈마 상태를 감시하고 진단할 수 있게 된다. SEM 프로파일정보가 다른 식각특성정보와 함께 플라즈마 진단에 응용된 적은 있으나 [4], 프로파일의 변화를 Anisotropy로 근사화함으로써 프로파일상의 미세한 정보가 수용되지 못해 진단성능을 향상시키는데에는 한계가 있었다. 최근에 SEM 영상을 웨이브릿변환 [3]하고 이에 기초하여 공정을 감시하는 기법이 발표된 바 있지만,

SEM 영상의 인식을 이용한 플라즈마 진단기법은 보고된 바가 없다.

본 논문에서 새로운 플라즈마 진단 방식을 소개한다. 제안하는 기법은 SEM 프로파일 영상, 웨이브릿, 그리고 신경망을 결합하여 개발하였다. 이산치 웨이브릿 변환 (Discrete Wavelet Transformation-DWT) [5]은 SEM 프로파일상의 미세정보를 정량적으로 추출하기 위해 이용되었으며, 수직, 수평, 그리고 대각 방향의 미세 프로파일 정보를 수집할 수 있었다. 각 성분에 대한 신경망 인식기를 개발하였으며, 그 성능을 인식정확도와 진단정확도 측면에서 평가하였다. 비교를 위해 종래의 직접방식을 이용하여 영상정보를 추출하여 인식모델을 개발하였다. 패턴 인식기로 역전파 신경망 (Backpropagation Neural Network-BPNN) [6]이 사용되었다. 본 진단 기법의 평가에 이용된 데이터는 SF₆ 플라즈마를 이용한 텅스텐 식각공정 중에 수집한 것이다.

2. 실험 데이터

식각공정에 이용된 Pinnacle 8000 helicon 플라즈마 식각시스템의 개략도가 그림 1에 도시되어 있다. 고밀도의 플라즈마는 13.56 MHz 소스전력을 안테나에 전달함으로써 발생한다. 챔버주위에 교번으로 배치되어 있는 24개의 영구자석은 플라즈마 균일도를 증진시킨다. 테스트 패턴은 (100) 방향의 8 in 웨이퍼에 구성하였으며, 3500Å W-600Å TiN-500Å Ti-4000Å Oxide의 구조를 가졌다. 장비와 테스트 패턴 제작과 관련한 보다 정확한 자료는 기존 보고에 상세히 설명되어 있다 [7]. 식각은 SF₆ 헬리콘 플라즈마에서 수행되었다. 플라즈마 고장은 소스전력, 바이어스전력, 기판온도, 그리고 SF₆ 유량을 변화시켜 발생하였다. 기준 조건으로 소스전력, 바이

저자 소개

* 고우람 : 世宗大學校 電子工學科 學士課程

** 김병환 : 世宗大學校 컴퓨터工部 副教授 · 工博

어스 전력, 기판온도, 그리고 SF₆ 유량을 2000 W, 0 W, -20 Co, 그리고 100 sccm에 설정하였고, 이 조건으로부터 각 공정변수를 변화시켜, 총 7개의 플라즈마 고장을 발생하였다.

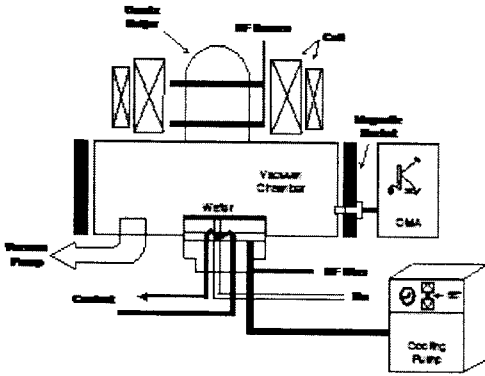


그림 1. 플라즈마 식각장비의 개요도

3. SEM 프로파일 특징 추출

3.1 Direct Method

기준점에서 수집한 SEM 프로파일 영상이 그림 2에 도시되어 있다. 직접방식 (Direct Method)을 적용하여 SEM 영상을 스캔하고, 스캔된 이미지에서 회색 코드는 비트맵으로 변화시켰다. 윤곽선을 추출하기 위해 변하지 않는 DC 성분은 제거되었고 그 결과 이미지가 그림 3에 도시되어 있다. 추출된 윤곽선 정보는 총 48개의 성분으로 구성되었다.



그림 2. 기준 플라즈마 조건에서 수집된 SEM 프로파일 영상

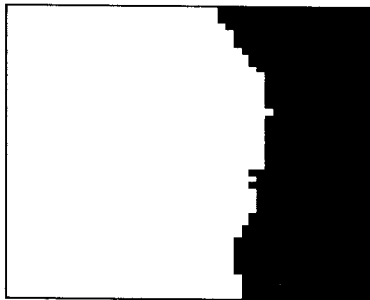


그림 3. DC 성분이 제거된 윤곽선

3.2 Wavelet Transformation

SEM 이미지에 DWT를 적용하였으며, 변환 인자로 Scale level 1과 타입 1의 다우비치 함수가 사용되었다. Histogram 방법을 사용하여 프로파일 윤곽선을 변환된 근사 (approximation) 성분으로부터 추출하였다. DWT를 추출된 프로파일 윤곽선에 적용하였으며, 그 결과 수평, 수직, 그리고 대각방향의 미세 프로파일 정보를 얻을 수 있었다. 각 성분은 576개의 요소로 구성되었다. 웨이블릿 변환된 프로파일 정보가 각 방향으로 그림 4에 도시되어 있다.

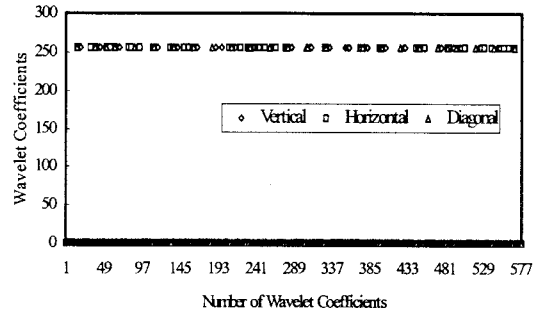


그림 4. 성분별 웨이블릿 변환정보의 분포도

그 결과 수직성분에 대한 웨이블릿 계수들은 그림 3에 도시되어 있다. 웨이블릿 계수들의 패턴은 플라즈마 조건에 따라 다르며, 따라서 플라즈마 고장상태를 감시하고 진단하기 위한 유용한 징후 (Symptom)로 이용할 수 있다. 그림 4에서와 같이 각 성분별로 그 분포가 다르며, 따라서 공정변수에 따른 웨이블릿 변환정보는 플라즈마 진단을 위한 유용한 증거 (Symptom)로 응용할 수 있다.

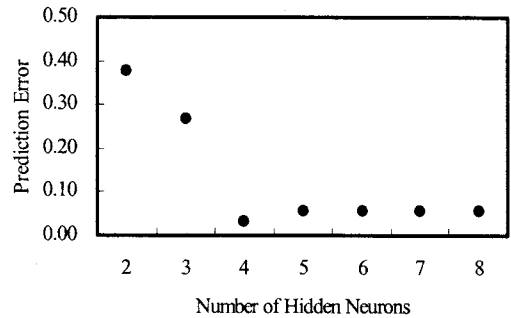


그림 5. 은닉층 뉴런수에 따른 직접방식 모델의 인식정확도

4. 인식모델의 평가

BPNN을 이용하여 인식기를 개발하였다. BPNN의 입력단은 직접방식의 경우 48개, 그리고 웨이블릿 변환방식의 경우 576개의 뉴런으로 구성되었다. 출력단의 뉴런수는 총 4개이며, 각 작은 플라즈마 고장원인이 되는 공정변수를 지칭한다. 학습규칙으로는 일반화된 델타 규칙 [6]이 이용되었다. 직접

방식의 경우, 모델성능은 은닉층 뉴런수를 2에서 8까지 증가시키면서 평가하였다. 모델의 인식정확도는 Root Mean-Squared Error (RMSE)로 계산하였다. 은닉층 수는 1개였다. 계산된 인식정확도가 그림 5에 도시되어 있다. 그림 5에서와 같이 가장 작은 RMSE는 뉴런수 4에서 얻어졌고 그 값은 약 0.0344이다.

다음에 웨이브릿 변환 데이터를 이용한 인식기를 각 성분별로 개발하였으며, 그 인식정확도가 그림 6에 도시되어 있다. 직접방식에 비해 입력 변수가 큰 이유로 인해 은닉층 뉴런수를 2에서 12까지 변화시켰다. 그림 6에서와 같이 일반적으로 뉴런수의 증가에 따라 인식정확도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 그림 6에서와 같이, 가장 작은 RMSE는 각 웨이브릿 모델에서 뉴런수가 10,11,12일 때 동일하게 약 0.189이었다. 이 인식정확도와 비교하면 앞서의 직접방식 모델의 인식정확도 약 82%의 개선도를 보인다. 이것은 직접방식이 웨이브릿 변환방식에 비해 SEM 영상 인식에 더 효과적이라는 것을 보여준다.

5. 결론

플라즈마 진단을 위한 새로운 인식 모델을 개발하였다. 모델은 신경망을 이용하여 SEM 프로파일 정보를 인식함으로써 만들어졌다. SEM 프로파일 윤곽선 정보는 직접방식과 웨이브릿 변환방식을 이용하여 추출하였다. 웨이브릿 변환 방식의 적용으로 프로파일 정보를 세 성분, 즉 수평, 수직, 그리고 대각성분으로 분해하여 세분화된 모델을 개발할 수 있었다. 웨이브릿 변환정보에 기반한 모델보다 직접방식이 더 우수한 인식성능을 보였다. 개발된 진단 모델은 소자제조업체의 Run-to-Run 웨이퍼공정 감시를 위해 응용될 수 있으리라 기대된다. 아울러 본 진단 모델을 종래의 In-Situ 감시방식과 결합할 때 플라즈마 공정을 보다 엄격히 제어할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 System IC 2010 사업과 University IT Research Center 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Stevenson J.O., Ward, P.P., Smith M. L., Markle R.J., "A Plasma Process Monitor/Control System," Surf. Interf. Anal. vol. 26, pp. 124-133, 1998.
- [2] Bose, Patrick R., Baltus H., "Measurement of Discharge Impedance for Dry Etch Process Control," SPIE vol. 2336, pp. 101-110, 1994.
- [3] Kim, B., Lee, C., "Monitoring Plasma Impedance Match Characteristics in a Multipole Inductively Coupled Plasma for Process Control." J. Vac. Sci. Technol. A vol. 18, no. 1, pp. 58-62, 2000.
- [4] Kim, B. Choi, W. Lim, M.T., "Wavelet monitoring of plasma etching," J. Vac. Sci. Technol. B vol. 21, no 6, pp. 2329-2333, 2003.
- [5] Prasad L., Iyengar S.S., Wavelet Analysis with Applications to Image Processing. CRC Press, 1977.
- [6] Rummelhart, D.E., McClelland, J.L., Parallel Distributed Processing. MIT Press, Cambridge, 1986.
- [7] Kim, B., Sun, J., Choi, C., Lee, D., Seol Y., "Use of neural networks to model low temperature tungsten etch characteristics in SF₆ plasma", J. Vac. Sci. Technol. A, vol. 18, no. 2, pp. 417-422, 2000.