2002년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2002.7.10-12

웨이블릿을 이용한 식각 패턴의 검사

최원선*, 임묘택*, 김병환**
(*) 고려대학교 전기공학과, (**) 세종대학교 전자공학과

Detection of Etching Pattern Using Wavelets

Won Sun Choi(*), Myo Taeg Lim(*), Byungwhan Kim(**)
(*) Electrical Engineering, Korea University, (**) Elecrtronic Engineering, Sejong University

Abstract - 장비 플라즈마의 감시는 장비의 신뢰성과 생산성의 유지에 중요하다. 이산 웨이블릿 기술(Discrete Wavelet Transform)을 에칭 프로파일 표면의 이상(Anomaly)을 검출하는 데 응용하였다. 플라즈마 이상은 SF_6 유량에 변화를 주면서 모의실험 되어졌다. 프로파일의 수직, 수평 그리고 수직과 수평부분이 합해진 부분에 대한 변환된 계수의 변화를 개별적, 그리고 총체적으로 평가하였다. 그 결과 각 부분에 대해 4번째의 계수가 가장 높은 민감도를 보였으며, 총체적인 평가에 있어서는 합해진 부분에 대한 민감도가 가장 높았다.

1. 서 론

소자 선폭의 크기가 100nm까지 줄어듦에 따라, 장비의 생산성과 소자의 수율을 유지하기 위한 플라즈마 상태 검출에 대한 중요성이 증가되고 있다. 플라즈마 진단은 공정 중 또는 공정 후의 진단데이터를 이용하여 수행되고 있다. 공정중의 진단을 위하여 다양한 진단장비가 이용되며, 광추출검출기(OES)는 그 대표적인 예이다[1]. 공정 후의 진단을 위해서는 실제 측정된 식각공정 특성이 이용되며, 주로 식각률의 변화를 기초로 하고 있다. 많은 공정변수들이 식각공정에 관여하고 있고, 각 변수들은 식각률 외에 프로파일에 상당한 영향을 준다. 따라서 프로파일의 공정변수에 따른 변화는 공정변수와 그 값(전력과 유량의 크기)에 구체적으로 나타난다. 일반적으로, 프로파일은 식각된 패턴의 경사나 각을 측정함으로써 추정한다. 이 방법의 한 가지 결점은 프로파일 상의 작은 변화를 검출하기가 불가능하다는 것이다. 실제로 기존의 방법은 이 미세 변화는 무시하였고, 따라서 플라즈마 이상 진단을 위한 중요 실마리가 상실되고는 하였다. 프로파일 상의 미세 변화의 검출 필요성은 고밀도 플라즈마(HDP)의 활발한 응용과 더불어 더욱 증대되고 있다. 이는 고밀도 플라즈마의 사용으로 프로파일을 따라 생기는 굴곡과, 보호층 바로 아래의 언더컷(Undercut) 또는 바닥층 근처의 접촉 영역에 생기는 트렌치(Trench)와 같은 미세구조가 형성되는 것에 기인한다. 미세구조들은 공정변수의 변화에 따라 변화하며, 따라서 이러한 변화를 플라즈마 진단에 효과적으로 이용할 수 있다. 이를 위해서는 미세구조의 변화를 효과적으로 특징지울 수 있는 기법의 개발이 요구된다.

본 연구에서는 웨이블릿, 특별히 이산 웨이블릿 변환(DWT)[2]을 프로파일상의 작은 변화를 검출하는 데 이용한다. 이산 웨이블릿 변환은 최근 임피이던스 정합 데이터에 적용하여 플라즈마 이상을 감시하는 데 응용된 바 있다[3]. 주사전자현미경(SEM)으로 찍은 프로파일 사진을 DWT를 이용하여 변환을 수행하고, 얻어진 프로파일의 수평, 수직 그리고 수평과 수직이 합해진 부분에 대하여 변환된 계수의 민감도를 개별적 그리고 총체적으로 파악한다. 플라즈마 이상은 가스(SF_6)의 유량에 변화를 주어 모의 실험하였다. 데이터 수집을 위해 텅스텐을 SF_6 플라즈마에서 식각공정을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 자료 수집

Pinnacle 8000 Helicon 플라즈마 식각 시스템을 이용하여 식각이 수행되었다. 본 공정은 이전에 신경망을 이용하여 모델링 된 바 있다[4]. 4개의 반대 자극을 가진 영구자석으로 이루어진 Process Chamber를 둘러싸고 있는 Magnetic Bucket은 고도로 구성된 플라즈마를 나타낸다. 고정 Chamber를 에워싸고 있는 Magnetic Bucket은 24개의 양극의 전자석으로 구성되었으며, Chuck Holder의 온도는 TAITAC 냉각펌프에 의해 제어된다. 식각 패턴은 8 inch 웨이퍼에 제조되었으며, 3500Å정도의 텅스텐 박막을 증착하였다. 주사전자현미경을 이용하여 프로파일에 대한 영상자료를 구하였다.

그림 1 주사전자현미경으로부터 추출한 프로파일

2.2. 이산 웨이블릿 변환(DWT)

웨이브렛은 시간과 주파수 영역에서의 신호나 상(image)의 해석을 용이하게 해주며, 압축과 노이즈 제거, 그리고 이상 신호의 검출에 응용이 되고 있다. 이산 웨이브렛 (DWT)는 상을 저주파와 고주파 필터를 이용하여 분해하며, 저주파 필터는 임의의 level에서 상을 근사화하며, 고주파 필터는 동일 level에서의 미세 부분에 대한 정보를 제공한다. 임의의 함수 $f(t)$를 DWT하였을 때, 다음과 같은 2개의 성분의 합으로 표현된다.

$$f(t) = \sum_k c_{j_0,k}\phi_{j,k}(t) + \sum_{j=j_0}^{\infty}\sum_k d_{j,k}w_{j,k}(t) \quad (1)$$

(1)에서 $\phi(t)$는 스케링 함수라 불리며, 다음과 같이 정의된다.

$$w(t) = \sqrt{2}\sum_l h_l\phi(2t-l) \quad (2)$$

여기서 $\{h_l\}$은 저주파 필터의 계수에 해당한다. 다른 $w(t)$는 웨이브렛 함수라하며, 다음과 같이 정의 된다.

$$w(t) = \sqrt{2}\sum_{l} g_l \phi(2t - l) \quad (3)$$

여기서 $\{g_l\}$은 고주파 필터의 계수에 해당한다. 그리고 (1)의 $\{c_{jk}\}$와 $\{d_{jk}\}$는 각기 스케일 (근사)계수와 웨이브렛 (세부)계수라 칭한다.

스캐너를 이용하여 주사전자현미경 사진으로 찍은 식각 프로파일을 150 dpi의 해상도로 스캔하였다. 그리하여 얻어진 650×500 크기의 상에서 iPhoto Plus 4를 이용하여 이 중 72×72 크기의 프로파일을 추출하여 bmp파일로 저장하였다. 추출된 프로파일의 모습은 그림 1에 나타나 있다. 구해진 상에 DWT를 5번 연속으로 수행하였으며, 그 결과 프로파일의 수직과 수평 부분에 대한 3×3 크기의 압축행렬을 얻었다.

2.3. 결과 해석

2.3.1. 계수별 민감도 해석

그림 2는 SF_6의 변화에 따른 식각 패턴의 수직 부분에 대한 웨이블릿 변화를 도시하고 있다. 다른 공정변수들, 즉 바이어스 전력, 기판 온도, 소수 전력은 각기 15W, -20℃, 그리고 2000W에 고정하고 식각 공정을 수행하였다. 5번의 연속적인 웨이블릿 변환 후 9개의 웨이블릿 계수를 얻었다. 그림에서와 같이 유량이 80 sccm인 경우, 해당 계수는 삼각형으로 표시되어 있으며, 보다 증가된 120 sccm에 대해서는 원으로 표시되어 있다. 양자간의 위치를 살펴보면 1, 3, 4, 5번째의 계수들에 대해서는 80 sccm에 해당하는 계수들이 더 작은 값을 보이고 있으며, 7, 8번째의 계수들에 대해서는 그 반대의 경향을 보이고 있다. 나머지 2, 6번째의 계수들에 대해서는 거의 동일한 수치를 보이고 있다. 4번째의 계수가 유량변화에 대해 최고의 민감도를 보인다. 구체적으로 유량이 80 sccm에서 120 sccm으로 증가할 때에 128에서 765로 변화하였으며, 이는 128 기준으로 497%의 변화를 의미한다. 결국 9개의 계수 중 7개가 민감한 변화를 보였는데, 이는 프로파일의 변화를 탐지하는 데 중요한 단서로 작용한다.

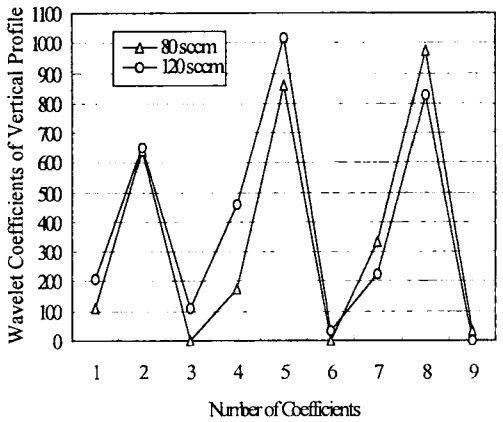

그림 2: 수직 패턴의 웨이브렛 변환계수

그림 3은 측면 프로파일에 대한 웨이블릿 변환 결과를 도시하고 있다. 그림 2와 비교해 볼 때 각 유량에 대한 계수들의 위치가 두 번째를 제외하고는 동일하다는 것을 알 수 있다. 최대의 민감도는 수직 패턴에서와 같이 4번째에서 얻는다. 즉 유량의 증가에 따라 25에서 47로 변화하였으며, 이는 88%의 변화를 의미한다. 그러나 계수들의 동일 유량 변화에 대한 변화는 두 그림의 비교로부터 알 수 있듯이 수직 패턴에 대한 계수들이 더 민감하다는 것을 알 수 있다.

그림 4는 수직과 수평 패턴에 대한 웨이블릿 변환 계수들을 도시하고 있다. 그림상의 각 점들은 다음의 계산식에 의해 계산된 양이다. 그림 2와 비교할 때 8번째를 제외하고는 그 계수들의 유량에 따른 변화가 일치한다. 그림 2와 그림 3에서와 같이 동일한 4번째의 계수 변화가 가장 우수한 민감도를 보였으며, 수치상으로 유량의 증가에 따라 96에서 398로 변화하였다. 이는 314%의 변화를 의미한다. 4번째의 계수 변화를 기준으로 할 때 수직 패턴에 대한 계수가 가장 민감하게 반응을 보였다. 따라서 이 계수의 감시를 통하여 플라즈마 이상을 탐지할 수 있게 된다.

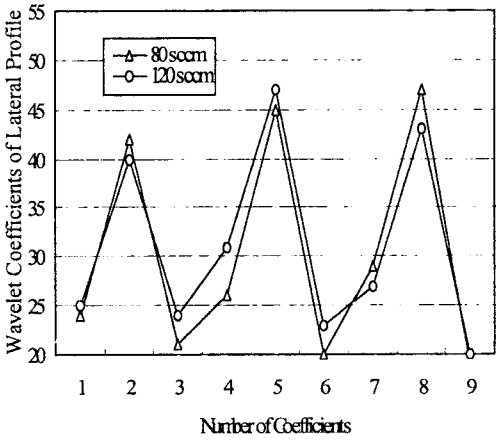

그림 3: 수평 패턴의 웨이브렛 변환계수

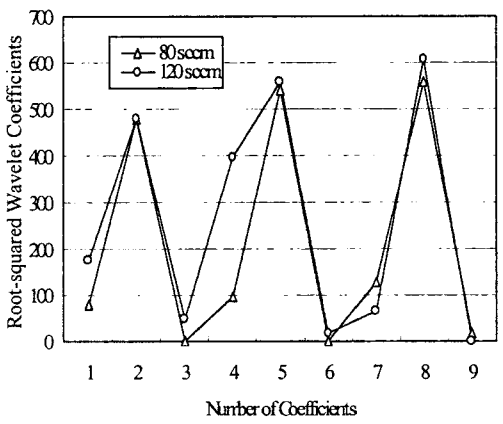

그림 4: 수직과 수평 패턴의 웨이브렛 변환계수

2.3.2. 전체 계수의 민감도 해석

이번에는 전체 계수의 영향을 비교한다. 수직과 측면 패턴에 대한 변환된 계수들을 다음과 같은 수식에 의해 수량화하였다.

$$V_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^{9} v_i}{9} \quad (4)$$

$$H_{ave} = \frac{\sum_{i=1}^{9} h_i}{9} \quad (5)$$

여기서 v_i는 수직 성분의 웨이블릿 계수, h_i는 수평 성분의 웨이블릿 계수, V_{ave}는 수직 성분 웨이블릿 계수의 평균, H_{ave}는 수평 성분 웨이블릿 계수의 평균이다. 수직과 수평 성분을 동시에 고려하기 위하여 다음과 같은 수식을 이용하였다.

$$C=\sqrt{V_{ave}^2+H_{ave}^2} \qquad (6)$$

(4)-(6)으로 계산된 양은 표 1에 있다. 표 1로부터 알 수 있듯이, 유량이 80 sccm에서 120 sccm으로 변화할 때, 수량화된 계수는 수직 패턴의 경우 13.2%의 상대적인 변화를 보이고 있다. 측면 패턴과 수평과 수직 패턴을 포함된 전체 패턴에 대해서는 각기 3.3%와 23.2%의 변화를 보이고 있다. 결론적으로 유량의 변화에 대해서는 전체 패턴에 대한 웨이블릿 계수의 변화가 가장 민감하다는 것을 알 수 있다. 따라서 유량의 변화에 대해서는 전체 패턴에 대한 웨이블릿 변환을 기초로 한 공정 감시가 플라즈마의 이상을 진단하는 데 더 효과적이라는 사실을 알 수 있다. 한편, 본 논문에서는 제시되지는 않았으나, 소스 전력 변화의 경우에는 수직 측면에 대한 계수 변화가 가장 민감하게 반응하였다. 즉 전체 계수의 민감도는 변화하고자 하는 패턴의 모습과 공정변수에 의존하는 복잡한 함수라는 사실을 알 수 있다. 결론적으로 플라즈마 공정 이상은 웨이블릿 계수의 개별적 또는 전체적 감시를 통해서 탐지를 할 수 있다는 것을 본 논문에서는 밝히고 있다. 이같은 결과를 이전의 플라즈마 장비 진단 시스템에 응용할 때에 in-line 진단 효율을 높일 수 있다.

표 1 : 수량화된 웨이블릿 계수

SF_6 유량	수직패턴	측면 패턴	수직과 측면 패턴
80 sccm	347	30	211
120 sccm	393	31	260

3. 결 론

이산 웨이블릿 변환 기법을 에칭 프로파일의 이상(Anomaly) 검출에 적용하였다. 프로파일의 수직, 수평, 그리고 수직과 수평 부분에 대해 변환된 웨이블릿 계수들을 수량화하였으며, 이를 가스(SF_6) 유량의 변화에 대해 그 민감도를 계수별 그리고 전체 계수에 대하여 고찰하였다. 계수별 분석 결과 각 부분에 대해 공히 4번째의 계수가 가장 민감한 반응을 보였으며, 전체 계수에 대해서는 수직과 수평 부분이 합해진 부분의 경우가 민감도가 가장 높았다. 이같이 입증된 높은 민감도는 복잡한 플라즈마 공정의 이상을 검출하는데 효과적으로 활용될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학재단의 연구비(R01-2001-00268)에 해 지원되었으며, 이에 감사를 드립니다.

[참 고 문 헌]

[1] J. O. Steenson, P. P. Ward, M. L. Smith and R. J. Markle "A plasma process monitor / control system," Sur. Interf. Anal., Vol. 26, no. 124, pp. 124-133, 1998

[2] S. G. Mallat, A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation, *IEEE Trans. Pattern Anal. Match. Intell.*, vol. 11, no. 7, 1989.

[3] B. Kim and W. Choi, Using wavelets for monitoring plasma conditions, *Solid State Technol.*, vol. 44, no. 11, 2001.

[4] B. Kim, J. H. Sun, C. J. Choi, D. D. Lee, and S. Y. S. 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.

[5] B. Kim and G. S. May, "Real-time diagnosis of semiconductor manufacturing equipment using a hybrid neural network expert system," *IEEE Trans. Semicond. Manufact.*, vol. 20, no.1, pp. 39-47, 1997.