

웨이브릿과 X-ray 광전자분광법을 이용한 반도체 플라즈마 공정 감시 기법

Monitoring of semiconductor plasma process using wavelet and X-ray photoelectron spectroscopy

박경영, 김병환*
(Kyoung young Park, Byungwhan Kim)

Abstract - Processing Plasmas are very sensitive to a variation in process parameters, To maintain process quality and device yield, plasma malfunction should be tightly monitored with high sensitivity. A new monitoring method is presented and this was accomplished by applying discrete wavelet transformation to X-ray photoelectron spectroscopy. XPS data were collected during a plasma etching of silicon carbide. Various effects of DWT factor on fault sensitivity were optimized experimentally. Compared to raw data, total percent sensitivity for DWT data demonstrated a significantly improved sensitivity to plasma faults induced by bias power.

Key Word - X-ray photoelectron spectroscopy, discrete wavelet transform, plasma monitoring

1. 서 론

플라즈마는 소자제조를 위한 증착과 식각공정에 응용이 되고 있다. 플라즈마는 공정변수의 변화에 매우 민감하며, 이상 (Anomaly)이 생길 경우 제조되는 공정의 질(Quality)과 수율(Yield)이 저하될 수 있다. 식각공정 후 플라즈마 상태 감시를 위해서는 주로 식각률(Etch Rate) 데이터를 이용하고 있다. 식각률 보다, 식각된 표면에 플라즈마 감시와 진단을 위한 더 풍부하고 미세한 정보가 은닉되어 있다. 최근 식각 공정후 Scanning Electron Microscope (SEM)로 수집되는 영상에 웨이브릿 기법 [1]을 적용하여 플라즈마 상태를 감시한 연구보고가 있었으며, 종래의 프로파일 각도나 식각률에 의존한 감시 기법보다 더 나은 감시 성능을 보인 바 있다 [2]. SEM 외에 활발히 응용되고 있는 측정장비는 X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS)가 있으며, XPS는 식각 표면의 화학적 상태를 분석하는데 이용된다. 화학적 상태는 공정변수의 변화에 따라 복잡하게 변화하며, 플라즈마 고장이 발생할 경우, 보다 미세한 정보를 제공할 수 있는 유용한 측정장치다. 그러나 아직까지, XPS를 플라즈마 감시를 위해 응용한 사례는 보고된 바가 없으며, 본 연구에서 이를 살펴보고자 한다.

XPS 데이터는 silicon carbide (SiC)의 플라즈마 식각공정을 수행한 후 수집되었다. XPS에 은닉되어 있는 플라즈

마 고장정보를 고감도 (High Sensitivity)로 표현하기 위해 웨이브릿 기법을 적용하였다. 플라즈마 고장은 바이어스 전력을 변화시켜 발생하였으며, 고장 민감도를 원래의 Raw 데이터와 비교하였다.

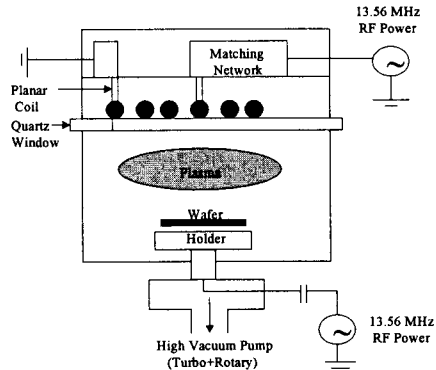


그림 1. ICP 식각 시스템의 개요도.

2. 실험 데이터

식각공정은 그림 1에 도시된 유도결합형 플라즈마 식각 시스템을 이용하여 수행하였다. 챔버 안에서 발생한 플라즈마는 석영유리에 의해 planar-coupled된 코일과 분리된다. 원통모양의 챔버는 각각 80mm의 반지름과 40mm의 높이를 가진다. 식각 가스를 공급하기에 앞서 챔버 안은 두 펌프(TUOVAC 3430MC와 Edward High Vacuum E2M40)를 이용하여 배기되며, 약 10^{-6} Torr의 기본압력을 유지한다. 가스유입은 질량유입제어기 (Mass Flow Controller)로 정확

저자 소개

- * 朴 京 泳 : 世宗大學 電子工學科 碩士課程
- ** 金 秉 桓 : 世宗大學 電子工學科 副教授

히 조절되며, Baratron Gauge로 측정되는 압력은 Throttle 밸브로 제어된다. 냉각수는 식각 공정 중 온도의 급격한 변화로부터 장비의 손상을 최소화하기 위해 칩 홀더로 공급된다. 실험 패턴은 <0001> 방향성의 n-type, 2인치, 4H-SiC 웨이퍼로 제조 하였다. 웨이퍼의 열전도성은 4.9 W/cm · K 이다. Cr negative mask를 이용하여 photoresist (PR)를 형성하였다. Magnetron sputtering을 이용하여 패턴된 PR 위에 Ni박막을 0.18 um 만큼 증착시킨 후, acetone으로 PR을 제거하여, Ni mask 층을 형성하였다. 그런 다음에, SiC 박막은 NF/CH₄ 플라즈마로 식각 되었다. 식각 공정시간은 5 분으로 설정하였다. 실험 변수로는 바이어스 전력 (Bias Power)를 이용하였다. 바이어스 전력을 50에서 150 W까지 25 W 간격으로 증가하면서 실험을 수행하였다. 나머지 실험 변수인 Source Power, Pressure, Gas Ratio는 각각 800 Watt, 9 mTorr, 0.6 sccm으로 고정하였다. 식각공정 후, 표면의 화학적 상태는 XPS (EscaLab 250)로 측정하였으며, Kinetic Energy의 범위는 686.1-1486.6 eV이었으며 0.1 eV 간격으로 수집하였다.

3. 웨이브렛

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

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

(1)에서 $\varphi(t)$ 는 스켈링 함수라 불리며, 다음과 같이 정의된다.

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

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

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

여기서 $\{g_l\}$ 은 고주파 필터의 계수에 해당한다. 그리고 (1)의 $\{c_{j_0,k}\}$ 와 $\{d_{j_0,k}\}$ 는 각기 스케일 (근사)계수와 웨이브렛 (세부)계수라 칭한다. DWT에 관여하는 인자에는 Daubechies Function Type (DBT)변수와 Scale변수가 있다.

4. 결 과

플라즈마 고장에 따른 고장민감도를 비교하기 위해 두 메

트릭 (Metric), 즉 PS와 TPS를 다음과 같이 정의한다. 이 두 메트릭은 정합량 데이터의 감시에 적용한 바 있다 [3].

$$PS = \frac{\sum_{i=1}^k |x_{(i,i+\Delta j)} - x_{(i,i)}|}{\sum_{i=1}^k |x_{(i,i)}|} \times 100(\%) \quad (4)$$

$$TPS = \sum_{i=\min}^{\max-\Delta j} PS_{(i+\Delta j,i)} \quad (5)$$

여기서 k는 샘플된 데이터의 총 개수이며, Δj 는 1바이어스 전력의 증가율 (즉 25 W), $x_{(i,j)}$ 는 j-level의 바이어스 전력에 대한 XPS의 웨이브릿 변환데이터의 i^{th} 요소, $x_{(i,j+\Delta j)}$ 는 $j+\Delta j$ level의 바이어스 전력에 대한 XPS의 웨이브릿 변환데이터의 i^{th} 요소를 지칭한다.

DWT 적용을 위해 전체 XPS spectra에서 256개의 데이터를 샘플링 (Sampling)하였다. 변환인자 중, 먼저 DFT의 영향을 최적화하기 위해 Scale 변수를 1로 고정하고 DFT를 1에서 8로 증가시키면서, PS와 TPS를 계산하였다. 예로서, DFT=1에서 계산된 결과가 표 1에 나타나 있다.

표 1 Scale=1, DFT=1에서의 PS와 TPS 연산

바이어스 전력 (W)	PS (DWT)	PS (Raw)
50 - 75	10.94	7.99
75 - 100	11.92	8.52
100 - 125	9.97	7.34
125 - 150	9.09	6.73
TPS	41.92	30.58

이해를 돕기 위해, 바이어스 전력이 700에서 750 W로 증가했을 때, Raw 데이터와 DWT 데이터에 (1)를 적용하여 계산된 양이 표 1의 두 번째 행에 나타나 있다. (2)를 적용하여 계산된 TPS는 표 1의 마지막 행에 나타나 있다. 표 1에 서와 같이 각 바이어스 전력의 변화에 따른 플라즈마 고장에 대해 DWT가 더 높은 PS를 보이고 있으며, 이는 DWT가 플라즈마 감시에 더 효과적임을 보여 준다, TPS의 측면에서 볼 때, DWT는 Raw에 비해 37%의 증진된 민감도를 보이고 있다.

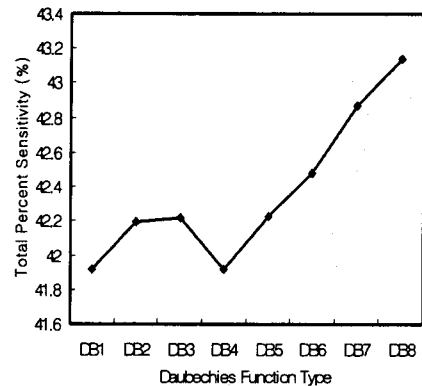


그림 2. DBT의 변화에 따른 TPS

이제, 다른 DFT에 대해서도 동일한 방법으로 TPS를 계산하였으며, 그 결과가 그림 2에 도시되어 있다. 그림 2에서와 같이, 일반적으로 DFT의 증가에 따라 TPS가 증가하고 있으며, DB8에서 최대의 TPS 43.14%를 보이고 있다. 다음에 DFT을 DB8에 고정하고 Scale 변수값을 1에서 8까지 증가시키면서 TPS를 계산하였으며, 그 결과가 그림 3에 도시되어 있다.

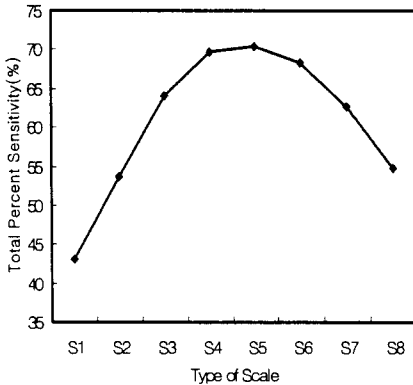


그림 3. Scale 변화에 따른 TPS

그림 3에서와 같이, Scale의 변화에 따른 TPS는 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있으며, 최고의 TPS는 Scale 5에서 결정이 되었으며, 해당 TPS는 70.39%이었다. 이는 DFT를 최적화하여 구한 TPS에 비해 67.9% 민감도가 향상된 수치이며, Raw에 비해서는 130.2% 증진된 수치이다. 결국 변환인자의 최적화로 고장민감도는 극대화시킬 수 있었으며, 이는 웨이브렛 변환기법이 XPS에 은닉된 플라즈마 고장정보를 정량적으로 표현 하는데 매우 효과적으로 적용할 수 있음을 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 XPS 데이터를 플라즈마 감시응용하기 위한 기법을 소개하였다. XPS 데이터는 플라즈마 SiC 식각공정을 수행한 후 수집하였다. DWT를 적용하였으며, 두 변환인자의 영향을 최적화 하였다. 비교를 위해 Raw 데이터에 대해서도 고장민감도를 계산하였으며, 바이어스 전력의 이상으로 인한 모든 종류의 플라즈마 고장에 대해 제안한 방식이 월등히 증진된 고장민감도를 보였다. 이는 제안한 방식이 플라즈마 고장의 탐지에 효과적으로 적용할 수 있다는 것을 의미하며, 기존의 Run-to-Run 제어기와 연계하여 공정의 보다 엄격한 제어에 활용할 수 있다. 제안된 기법은 모든 종류의 반도체 센서 데이터에 적용할 수 있는 일반적인 감시기법이며, 따라서 그 효용가치가 매우 높은 감시 기술이다.

참고문헌

- [1] S. G. Mallat, IEEE Trans. Pattern Anal. Match. Intell. 11, 674 (1989).
- [2] B. Kim, W. Choi, and M. T. Lim, J. Vac. Sci. Technol. B 21, 2329 (2003).
- [3] B. Kim and W. Choi, Solid State Technol. 44, 2001.