

플라즈마 임피던스 정합망 실시간 CUSUM 제어

김우석*, 김병환
 세종대학교

Real Time CUSUM Control of Plasma Impedance Matching Network

Woosuk Kim and Byungwhan Kim
 Sejong University

Abstract - A CUSUM control chart was used to monitor semiconductor plasma equipment. The performance of plasma monitoring was evaluated with various combinations of design variables involved in CUCUM control chart. Experimental data collected by using a real-time matching monitoring system include electrical positions of impedance and phase positions, and reflected power. The evaluation revealed that by determining specific design variables plasma states could be more strictly monitored.

망과 데이터 Register와 교신을 한다. 데이터 수집을 위해 Visual Designer를 이용하여 Flow Diagram을 구성하였으며, 이를 실행할 때 정합망 관련 변수가 PC에 도시되며, 관련 데이터가 저장되어 되게 된다. 플라즈마 조건을 변화시키며, 정합 변수에 대한 데이터를 수집하였으며, 매 실험에서 임피던스와 상 모터의 초기 위치는 동일한 5.94와 6.80 V에 각 기 고정하였다. 수집된 정합망 변수에는 임피던스와 상위치에 대한 전기적 위치, 그리고 반사 (Reflected) 전력 등이다.

1. 서 론

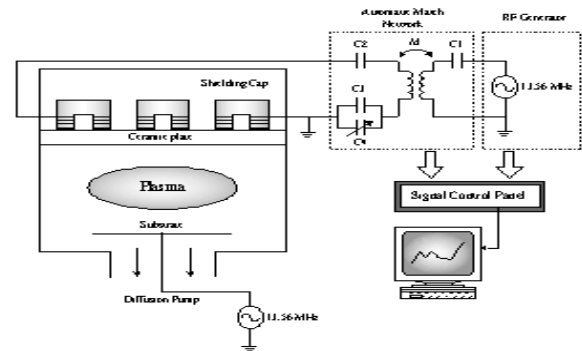
플라즈마 공정은 반도체 소자제조를 위한 박막의 증착과 패턴닝 (Patterning)에 핵심적으로 이용되고 있다. 플라즈마는 공정변수 (소스전력, 압력 등)에 매우 민감하게 반응을 한다. 챔버내로 전달되는 공정변수에 이상 (Anomaly)이 발생할 경우 플라즈마 상태가 달라지며, 이에 따라 챔버 (Chamber) 내에 발생하는 플라즈마 밀도, 전자온도, 플라즈마 전위, 그리고 라디칼 농도가 변화하게 되고, 이는 공정특성 (예컨대, 식각률, 균일도, 증착 두께, 박막 균일도)의 변화를 초래하게 된다. 플라즈마 특성의 변화는 제조되는 공정의 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 감시에 이용되는 데이터는 주로 장비부품 (예, 정합망) 또는 Optical emission spectroscopy, 임피던스 센서와 같은 플라즈마 센서기구를 통해 수집된 실시간 데이터들이다 [1-3]. 센서정보의 미세 변이를 추적하기 위해 통계적인 CUSUM 제어 차트 [4]가 이용된 적이 있다 [5]. 하지만, CUSUM 제어 차트 설계에 관여하는 인자에 대한 분석이 없었으며, 이에 대한 체계적인 연구가 요구된다. 본 연구에서는 CUSUM 제어차트 설계에 관여하는 변수의 영향을 고찰한다. 실험데이터는 RF 정합망 감시 시스템을 이용해 수집되었다.

2. 본 론

2.1 실험방법

정합데이터를 실시간으로 수집하기 위해 개발된 정합망 감시 시스템의 개요도는 그림 1에 도시되어 있다. 그림 1에서와 같이 정합망은 세 개의 고정 커패시터 (C1, C2, C3), 가변 진공 커패시터 (C4), 그리고 가변 상호 인덕턴스 (M)으로 구성되어 있다. 가변 변압기는 4권의 주요코일과 3권의 보조 코일로 이루어져 있다. 주 코일이 보조 코일 내에서 임피던스 (Impedance) 모터에 의해 회전될 때, M은 Zero Coupling을 위해 140 Ω에서 Maximum Coupling을 위해 100 Ω으로 변화한다. 주 코일은 보조코일의 M과 결합된 부하 (Load)가 50 Ω이 될 때까지 회전하게 된다. 동시에, 보조코일은 임피던스를 순수 저항적 (Resistive)으로 되게 하기 위해 상 (Phase) 모터를 이용하여 회전이 된다. 실시간 정합 데이터를 수집하기 위해, 다기능보드 (PCI-20428W-1)가 신호제어패널 (EASTDAS-5BP)에 접속되었으며, 패널에서의 I/O는 I3 BUSTM을 경유하여 보드의 프로그래



〈그림 1〉 실시간 정합 감시 시스템.

2.2 실험결과 및 고찰

CUSUM 제어 차트는 공정변수의 미세변이를 탐지하는 역할을 한다. 미세 변이는 다음의 수식을 통해 시간에 따라 축적된다.

$$SH(i) = \max[0, x - (\mu + b) + SH(i-1)] \quad (1)$$

$$SL(i) = \max[0, (\mu - b) - x + SL(i-1)] \quad (2)$$

여기서 x 는 Mean Value(평균), μ 는 Target Value(목표치)이며 b 는 다음과 같이 정의된다.

$$b = \tan(2\theta\delta x) \quad (3)$$

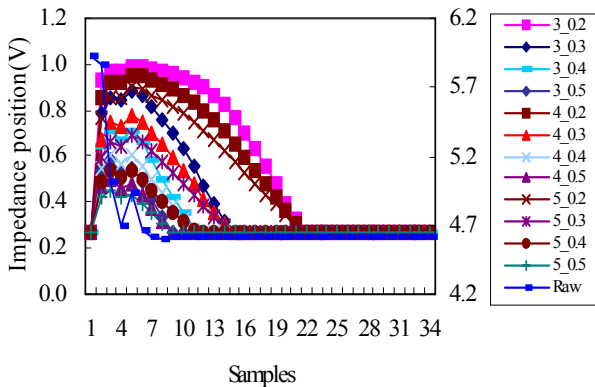
여기서, δx 는 Standard Deviation(표준편차) θ 는 Aspect Angle이라 칭하며, 결정 구간 (Decision Interval) h 는 다음과 같이 정의된다.

$$h = 2d\delta x \tan(\theta) \quad (4)$$

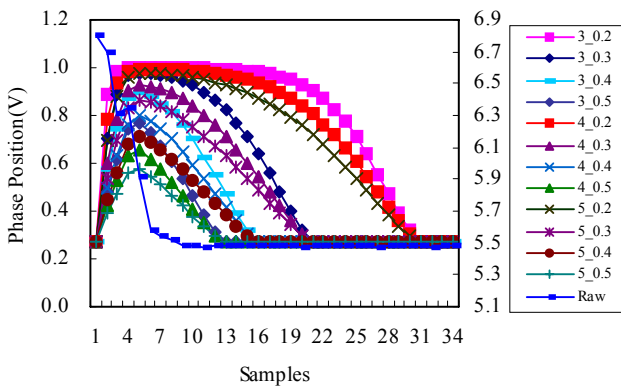
시간에 따라 축적되는 미세변이의 심각도 (Severity)는 다음의 식에 의해 Belief 값으로 변환된다.

$$s(s_{H/L}) = \frac{1}{1 + \exp[-(\frac{s_{H/L}}{h}) - 1]} \quad (5)$$

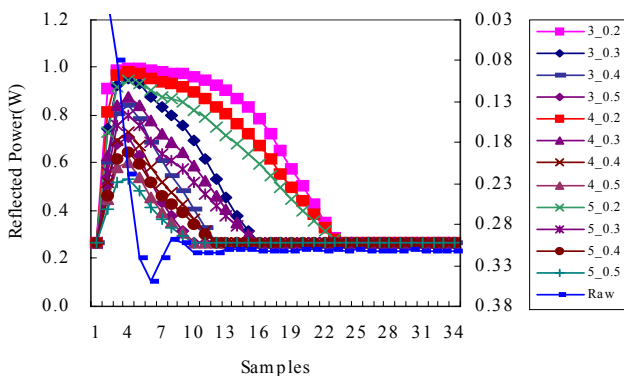
본 연구에서는 d 와 θ 값의 변화를 주어 다수의 (d , θ)의 조합에 따른 감시 성능을 평가하였다. 평가에 이용된 데이터는 소스 전력이 750 W, 압력이 6.5 mTorr, O₂ 유량이 75 sccm일 때 수집하였다. CUSUM 제어 차트를 수집된 정보에 적용한 결과가 그림 2-4에 도시되어 있다.



〈그림 2〉 임피던스 정합위치의 CUSUM Belief에의 설계 변수의 영향



〈그림 3〉 상위치의 CUSUM Belief에의 설계 변수의 영향



〈그림 4〉 반사전력의 CUSUM Belief에의 설계 변수의 영향

Raw 데이터 대비 성능 분석을 위해 (d , θ)의 조합에 따른 성능 분석을 비교 평가한 결과가 표 1에 나타나 있다. 성능 분석은 Raw 데이터가 시간에 따라 변화하는 변곡점을 얼마나 신속하게 추적할 수 있는지에 착안하여 실시하였다. 이를 위해 Raw 데이터의 변곡점이 발생하는 시간(T)을 계산하였으며, 그 결과가 표

1의 세번째 행에 나타나 있다. 그리고 각 조합별로 계산된 변곡점이 발생하는 시간과 T간의 차이, 즉 D에 대한 데이터가 표 1에 정리되어 있다. 표 1에서와 같이 임피던스 위치에 대해서는 (3,0.4)(3,0.5), (4,0.4)(4,0.5)와 (5,0.4)(5,0.5)에서, 상위치에 대해서는 (3,0.5), (4,0.5), 그리고 (5,0.5)에서, 그리고 반사전력에 대해서는 상위치와 동일한 조합에서 최적의 성능을 얻었다. 최적의 조합에서 알수 있듯이, 공통적인 사항은 θ 가 0.5에서 결정되었다는 사실이다.

〈표 1〉 (d , θ)의 조합에 따른 성능 비교표

	Impedance Position(V)		Phase Position(V)		Reflected Power(W)	
	T	D	T	D	T	D
Raw	12	-	13	-	11	-
(3,0.2)	23	11	32	19	25	14
(3,0.3)	16	4	22	9	17	6
(3,0.4)	13	1	17	4	13	2
(3,0.5)	11	-1	14	1	11	0
(4,0.2)	23	11	32	19	25	14
(4,0.3)	16	4	22	9	17	6
(4,0.4)	13	1	17	4	13	2
(4,0.5)	11	-1	14	1	11	0
(5,0.2)	23	11	32	19	25	14
(5,0.3)	16	4	22	9	17	6
(5,0.4)	13	1	17	4	13	2
(5,0.5)	11	-1	14	1	11	0

3. 결 론

본 연구에서는 CUSUM 제어 차트를 정합망 데이터에 적용하여 플라즈마를 감시하였다. 설계변수의 영향을 고찰하였으며, 공통적으로 θ 가 0.5에서 최적의 감시성능을 보였다. 이는 플라즈마 감시성능을 증진시키기 위해서는 CUSUM 제어차트의 설계변수의 조정이 필요하다는 것을 시사하고 있다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부가 지원하는 국가 반도체연구개발사업인 "시스템집적반도체기반기술개발사업(시스템IC2010)"을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

[참 고 문 헌]

- [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] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, Singapore, 1985.
- [5] B. Kim, G. S. May, Real-time diagnosis of semiconductor manufacturing equipment using a hybrid neural network expert system," IEEE Trans. Comp. Package. Manufact. Technol. C, vol. 20, no. 1, 39 (1997).