

## CUSUM 제어차트를 이용한 플라즈마 변이의 탐지

김우석, 김병환\*  
세종대학교

### Detection of Plasma Variation Using CUSUM Control Chart

Woosuk Kim and Byungwhan Kim\*  
Sejong University

**Abstract** - 본 연구에서는 반도체 플라즈마 장비 감시를 위한 CUSUM 제어 차트 설계방법에 관해 연구하였다. CUSUM 제어 차트에 관여하는 설계변수의 다양한 조합에 대하여 플라즈마 장비의 감시 성능을 평가하였다. 평가를 위해 RF 정합망 감시시스템을 이용하여 플라즈마 임피던스 정합에 관여하는 정합변수에 대한 실시간 데이터를 수집하였으며, 여기에는 임피던스와 상위치에 대한 전기적 정보, 그리고 반사전력에 대한 정보가 포함된다. 평가결과, 설계변수의 조합에 대하여 감시 성능이 크게 달랐지만, 각 센서 정보의 감시 성능을 증진시키는 설계변수의 조합이 있었음을 확인하였으며, 이는 각 종 다양한 센서정보 별 CUSUM 제어 차트의 설계가 필요함을 의미한다. 연구에서는 Raw 데이터 대비 성능 분석을 위해 CUSUM 제어 차트의 설계 변수를 변수인  $d$ 와  $\theta$ 값의 변화를 주어 다수의 ( $d$ ,  $\theta$ )의 조합에 따른 감시 성능을 평가하였으며, 평가에 이용된 데이터는 소스전력이 750 W, 압력이 15 mTorr, O<sub>2</sub> 유량이 50 sccm일 때 수집하였다.

#### 1. 서 론

플라즈마 공정은 반도체 소자제조를 위한 박막의 증착과 패턴닝 (Patterning)에 핵심적으로 이용되고 있다. 플라즈마는 공정 변수 (소스전력, 압력 등)에 매우 민감하게 반응을 한다. 챔버 내로 전달되는 공정변수에 이상 (Anomaly)이 발생할 경우 플라즈마 상태가 달라지며, 이는 소자수율과 장비생산성에 큰 영향을 주게 된다. 플라즈마의 미세 변이는 주로 In-situ 센서 시스템 (Optical emission spectroscopy, Impedance sensor 등)을 이용해 수집되고 있다 [1-3]. 센서 데이터의 시간에 따른 미세 변이의 추적을 위해 CUSUM 제어차트가 이용된다 [4]. CUSUM 제어차트의 설계변수 설정에 따라 감시성능이 크게 달라질 것으로 예상되었으며, 이를 확인하기 위한 연구가 최근 진행이 된 바 있다 [5-6]. 본 연구에서는 보고되지 않은 플라즈마 조건에서의 수집된 데이터를 활용하여 CUSUM 제어 변수의 탐지성능에의 영향을 고찰한다. 데이터는 임피던스 정합망 시스템 [3]을 이용하여 수집하였다.

#### 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 캐패시터 (C1, C2, C3), 가변 진공 캐패시터 (C4), 그리고 가변 상호 인덕턴스 (M)으로 구성되어 있다. 가변 변압기는 4권의 주코일과 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 프로그램밍과 데이터 Register와 교신을 한다. 데이터 수집을 위해 Visual Designer를 이용하여 Flow Diagram을 구성하였으며, 이를 실행할 때 정합망 관련 변수가 PC에 도시되며, 관련 데이터가 저장되게 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. 공정조건으로는 소스전력이 750 W, 압력이 15 mTorr, O<sub>2</sub> 유량이 50 sccm 이었다. 수집된 정합망 변수에는 임피던스와 상위치에 대한 전기적 위치, 그리고 반사 (Reflected) 전력 등이다.

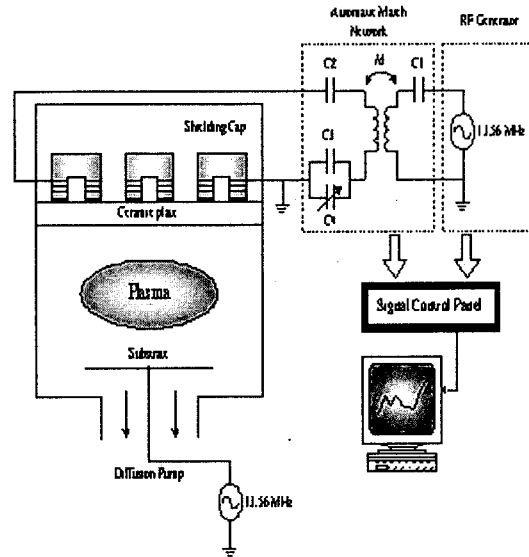


그림 1. 실시간 정합 감시 시스템.

##### 2.2 실험결과 및 고찰

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

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

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

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

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

여기서,  $\delta x$  는 Standard Deviation(표준편차)  $\theta$  는 Aspect Angle 이라 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  $\theta$ 값의 변화를 주어 다수의  $(d, \theta)$ 의 조합에 따른 감시 성능을 평가하였다. CUSUM 제어 차트를 수집된 정보에 적용한 결과가 그림 2-4에 도시되어 있다.

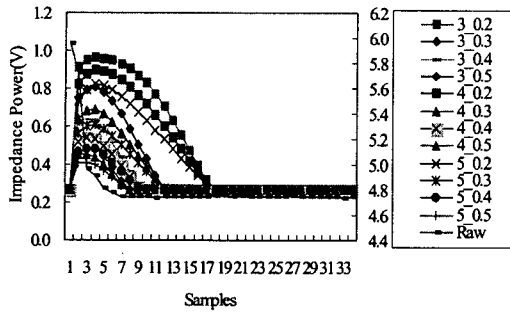


그림 2. 임피던스 정합위치의 CUSUM Belief에의 설계 변수의 영향

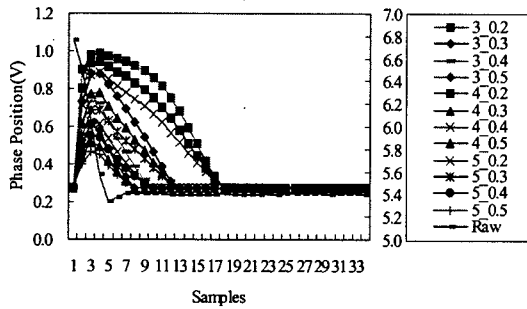


그림 3. 상위치의 CUSUM Belief에의 설계 변수의 영향

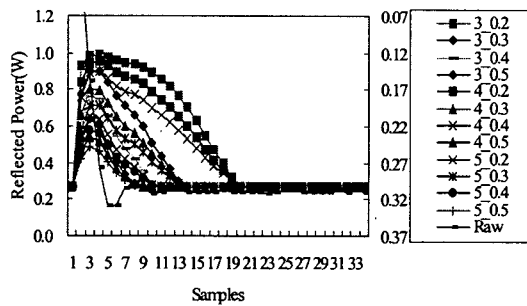


그림 4. 반사전력의 CUSUM Belief에의 설계 변수의 영향

Raw 데이터 대비 성능 분석을 위해  $(d, \theta)$ 의 조합에 따른 성능 분석을 비교 평가한 결과가 표 1에 나타나 있다. 성능분석은 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), (4,0.4)와 (5,0.4)에서, 상위치에 대해서는 (3,0.5), (4,0.5), 그리고 (5,0.5)에서, 그리고 반사전력에 대해서는 임피던스 위치와 동일한 조합에서 최적의 성능을 얻었다.

표 1.  $(d, \theta)$ 의 조합에 따른 성능 비교표

	임피던스 위치 (V)		상 위치 (V)		반사전력 (W)	
	T	D	T	D	T	D
Raw	12	-	9	-	12	-
(3,0.2)	19	7	19	10	21	9
(3,0.3)	14	2	14	5	15	3
(3,0.4)	11	-1	11	2	12	0
(3,0.5)	9	-3	9	0	10	-2
(4,0.2)	19	7	19	10	21	9
(4,0.3)	14	2	14	5	15	3
(4,0.4)	11	-1	11	2	12	0
(4,0.5)	9	-3	9	0	10	-2
(5,0.2)	19	10	19	10	21	9
(5,0.3)	14	2	14	5	15	3
(5,0.4)	11	-1	11	2	12	0
(5,0.5)	9	-3	9	0	10	-2

### 3. 결 론

본 연구에서는 CUSUM 제어 차트를 정합망 데이터에 적용하여 플라즈마를 감시하였다. 설계변수의 영향을 고찰하였으며, 임피던스와 반사전력에서는  $\theta$ 가 0.4 상위치는  $\theta$ 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] 김우석, 김병환, CUSUM 제어 차트를 이용한 플라즈마 장비 임피던스 정합망 센서정보의 실시간 감시, 한국반도체 및 디스플레이 장비학회, 2006년도 추계학술대회 논문집, 90-94, 2006.
- [6] 김우석, 김병환, 플라즈마 임피던스 정합망 실시간 CUSUM 제어, 2007년도 대한전기학회 하계학술대회논문집, 1844-1845, 2007.