

가변 CUSUM 제어차트를 이용한 플라즈마 공정 감시  
 Plasma Processing Supervision Using Varing CUSUM Control Chart

김우석<sup>1</sup>, 김병환<sup>2</sup>  
 (1\*) 세종대학교, 전자공학과  
 (2) 세종대학교, 전자공학과

초 록 : 본 연구에서는 반도체 플라즈마 장비 감시를 위한 CUSUM 제어 차트 설계기법에 관해 연구하였다. CUSUM 제어차트에 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. CUSUM 설계변수에 따른 감시와 진단성능을 평가하였으며, 최적화된 설계변수의 결정으로 감시와 진단성능을 증진시킬 수 있었다. 한편, 고정설계변수에 비해 가변 설계변수가 감시성능을 증진하는데 더 효과적임을 알 수 있었다. 평가에 이용된 데이터는 소스 전력이 500 W, 압력이 15 mTorr, O<sub>2</sub> 유량이 75 sccm일 때 수집하였다.

(목표치)이며 b 는 다음과 같이 정의된다.

$$b = \tan(2\theta\delta x) \tag{3}$$

여기서,  $\delta x$  는 Standard Deviation(표준편차)  $\theta$ 는 Aspect Angle을 지칭한다. 본 연구에서는 고정된 표준편차대신에 시간에 따라 계산되는 가변 표준편차를 이용하였으며, CUSUM 설계변수는 이에 기초하여 계산되었다. 결정구간 (Decision Interval) h 는 다음과 같이 정의된다.

$$h = 2d\delta x \tan(\theta) \tag{4}$$

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

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

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 공정의 질 (Quality)이 저하될 수 있으며, 이는 소자수율의 저하로 이어질 수 있다. 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 차트가 이용된 적이 있다 [4-5]. 이전 연구에서는 고정된 설계변수가 이용되었다. 그러나, 가변적인 설계변수의 영향에 대해서는 연구된 바가 없으며, 이를 본 연구에서 고찰해 본다. 실험데이터는 RF 정합망 감시 시스템을 이용해 수집되었다.

본 연구에서는 d와  $\theta$ 값의 변화를 주어 다수의 (d,  $\theta$ )의 조합에 따른 감시 성능을 평가하였다. 평가에 이용된 데이터는 소스전력이 500 W, 압력이 15 mTorr, O<sub>2</sub> 유량이 75sccm일 때 수집하였다. CUSUM 제어 차트를 수집된 정보에 적용 한 결과가 그림 2-4에 도시되어 있다.

2. 본 론

2.2 가변 CUSUM 제어차트

실험데이터 수집을 위한 실시간 정합망 감시시스템에 대해서는 이전 연구에서 상세히 설명된 바 있다 [4-5]. CUSUM 제어 차트는 공정변수의 미세변이를 탐지하는 역할을 한다. 미세 변이는 다음의 수식을 통해 시간에 따라 축적이 된다.

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

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

여기서 x 는 Mean Value(평균),  $\mu$  는 Target Value

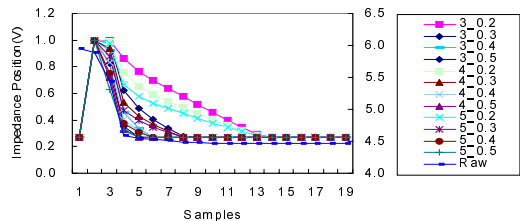


그림 2. 임피던스 정합위치의 CUSUM Belief에의 설계 변수의 영향

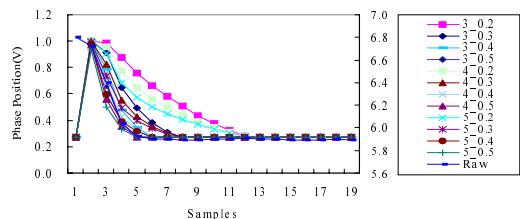


그림 3. 상위치의 CUSUM Belief에의 설계 변수의 영향

Raw 데이터 대비 성능 분석을 위해 (d,  $\theta$ )의 조합에 따른 성능분석을 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 세 번째 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(3,0.3), (4,0.3)와 (5,0.3)에서, 상위치에 대해서는 (3,0.4)(3,0.5), (4,0.4)(4,0.5), 그리고 (5,0.4)(5,0.5)에서, 그리고 반사전력에 대해서는 (3,0.5), (4,0.5)와 (5,0.5) 조합에서 최적의 성능을 얻었다.

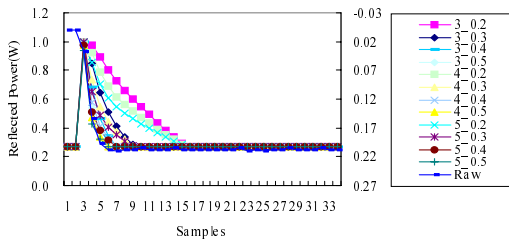


그림 4. 반사전력의 CUSUM Belief에 설계 변수의 영향

표 1. (d,  $\theta$ )의 조합에 따른 성능 비교표

	임피던스 위치 (V)		상 위치 (V)		반사전력 (W)	
	T	D	T	D	T	D
Raw	10	-	6	-	6	-
(3,0.2)	14	4	13	7	16	10
(3,0.3)	9	-1	8	2	10	4
(3,0.4)	6	-4	6	0	7	1
(3,0.5)	5	-5	6	0	6	0
(4,0.2)	14	4	13	7	16	10
(4,0.3)	9	-1	8	2	10	4
(4,0.4)	6	-4	6	0	7	1
(4,0.5)	5	5	6	0	6	0
(5,0.2)	14	4	13	7	16	10
(5,0.3)	9	-1	8	2	10	4
(5,0.4)	6	-4	6	0	7	1
(5,0.5)	5	-5	6	0	6	0

표 2. CUSUM제어 차트의 비교

		고정	가변
Impedance Position (V)	가장 작은 D	0	-1
	D의 범위	0 ~ 13	-5 ~ -1
	D의 발생빈도	3	3
Phase Position (V)	가장 작은 D	3	0
	D의 범위	3 ~ 15	0 ~ 7
	D의 발생빈도	3	6
Reflected Power (W)	가장 작은 D	3	-1
	D의 범위	3 ~ 17	-2 ~ 8
	D의 발생빈도	3	3

고정설계변수를 가진 CUSUM제어차트를 적용했을 때의 감시 성능 [5]과 비교한 결과가 표 2에 있다. 비교는 세 기준, 즉 가장 작은 D, 모든 조합에 대한 D의 범위, 그리고 가장 작은 D의 발생빈도 측면에서 비교하였다. 표 2에서와 같이 가장 작은 D측면에서 임피던스 위치의 경우 고정이나 가변의 경우 그 성능이 비슷하였지만, 상위치와 반사전력의 경우 가변이 더 우수한 성능을 보였다. D의 범위 측면에서는 모든 변수에 대해서 가변의 경우가 더 작은 범위를 보였다. 가장 작은 D의 발생빈도측면에서 임피던스 위치와 반사전력의 경우 고정이나 가변이 동일한 빈도를 보였으나, 상위치의 경우 2배나 증가된 발생 빈도를 보였다. 이같은 비교를 통해 센서정보의 미세변이를 감시하는데 가변 설계 방식이 더 효율적임을 알 수 있었다.

### 3. 결론

본 연구에서는 CUSUM 제어 차트를 정합망 데이터에 적용하여 플라즈마를 감시하였다. 설계변수의 영향을 고찰하였으며, 임피던스에서는  $\theta$ 가 0.4, 상위치에서는  $\theta$ 가 0.4와 0.5, 반사전력에서는  $\theta$ 가 0.5에서 최적의 감시성능을 보였다. 한편, 고정설계변수와 비교하여 제안하는 가변설계변수가 감시성능을 증진하는 데에 더 효과적이었음을 확인하였다.

### 감사의 글

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

### 참고 문헌

- [1] J. O. Stevenson, P. P. Ward, M. L. Smith, R. J. Markle, Ad Interface Analysis, vol. 26, 124 (1998).
- [2] S. Bushm plasma process monitor/control system, Surface anan, T. F. Edgar, I. Trachtenberg, Radio frequency diagnostics for plasma etch systems, SPIE vol. 2336, J. lee, Monitoring plasma impedance match characteristi1994.
- [3] B. Kim, C.cs 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, 한국 반도체 및 디스플레이 장비학회, 2006년도 추계 학술대회 논문집, 90-94, 2006.