

論文93-30A-12-9

## 통계적 기법을 이용한 선택적 CVD 텅스텐 공정 최적화 연구

## (The Optimization of the Selective CVD Tungsten Process using Statistical Methodology)

黃成輔\*, 崔璟根\*, 朴興洛\*, 高哲基\*

(Sung Bo Hwang, Kyeong Keun Choi, Heung Lak Park and Chul Gi Ko)

## 要約

본 연구에서 RSM(response surface method)의 통계적 기법을 사용하여 선택적 CVD 텅스텐 증착 공정을 증착 속도와 박막의 접합성을 증대시키는 조건으로 최적화시켰다. 공정변수로 온도, SiH<sub>4</sub> 및 WF<sub>6</sub> 유량 그리고 H<sub>2</sub>와 Ar의 수송기체를 선택하였으며 주로 수송기체에 따른 공정 특성을 비교하였다. 수소 수송 기체를 사용하는 경우는 온도가 증착 속도를 빠르게 하기 위한 주요 공정 변수임을 보인 반면, 아르곤을 수송기체로 사용한 경우에는 반응물의 비(SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub>)가 증착 속도에 미치는 영향이 제일 큰 공정변수임을 관찰하였다. 아르곤 수송기체를 사용하는 경우 수소를 사용하는 경우보다 증착 속도가 빠르고 박막의 접합성이 우수한 결과를 얻었다. 또한 온도는 300~320℃, SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub>의 반응물 비가 0.5~0.6 일때 증착 속도가 빠르고 텅스텐 박막의 peel 현상을 억제하는 최적화된 조건임을 제시하였다.

## Abstract

The statistical methodology using RSM (response surface method) was used to optimize the deposition conditions of selective CVD tungsten process for improving the deposition rate and the adhesion property. Temperature, flow rate of SiH<sub>4</sub> and WF<sub>6</sub>, and H<sub>2</sub> and Ar carrier gases were chosen for the deposition variables and process characteristics due to carrier gas were intensively investigated. It was observed that temperature was the main factor influencing the deposition rate in the case of H<sub>2</sub> carrier gas while the reactant ratio, SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub>, had the principal effect on the deposition rate in the case of Ar carrier gas. The increased deposition rate and the good adhesion to Si were obtained under Ar carrier gas compared to H<sub>2</sub> carrier gas. The optimum conditions for deposition rate and anti-peeling property were found to be the temperature range of 300~320℃ and the reactant ratio, SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub>, of 0.5~0.6.

\*正會員, 現代電子(株) 半導體 研究所  
(Hyundai Electronics Industries Co., Ltd.  
Semiconductor Research and Development

Laboratories)  
接受日字: 1993年 3月 23日

## I. 서론

최근 실리콘 기억 소자의 밀도가 높아지면서 화학 기상 증착법 (chemical vapor deposition)에 의한 텅스텐 금속화 공정이 관심을 끌고 있다.<sup>1)</sup> 텅스텐은 높은 용점을 가져서 기존의 알루미늄 배선의 electromigration 및 junction spiking 등의 문제점을 해결할 수 있다. 그리고 열악한 단차 피복성 (stepcoverage)을 갖는 물리 기상 증착법에 대하여 화학 기상 증착법은 우수한 단차 피복성을 가져서 복잡하고 미세한 구조에 금속 박막을 채우는데 유리하다. 또한 화학 기상 증착법으로는 반응의 선택성을 이용하여 특정 부위에 선택적 증착을 가능하게 한다. 화학 기상 증착법에 의한 텅스텐 금속화 공정도 이러한 선택적 증착을 이용하는 플러그 기술이 주목받고 있다.<sup>2), 3), 4)</sup>

화학 기상 증착법에 대한 공정 개발은 반응에 대한 열역학적 고찰과 반응기 설계에 따른 반응 기체의 유체 역학등을 고려하여야 한다. 즉 많은 공정 변수를 내포하고 있으며 공정이 복잡한 특징을 갖고 있다. 전형적인 공정 변수들로는 반응 기체의 혼합비, 반응 기체의 도입 유량 그리고 온도, 압력등이다. 각각의 공정 변수가 공정에 미치는 효과를 파악하기 위해서는 실험의 경우수가 많고 또한 반복을 통한 재현성까지 검토해야 한다. 이에 통계적 기법을 활용하여 실험의 가지수를 줄이면 개발 시간이 단축되고 경제적 효율을 증대시키는 파급 효과를 가져온다. RSM (response surface method)은 통계적 기법중의 하나인데 각 공정 변수가 공정에 미치는 효과를 경험식으로 창출할 수 있다. 또한 경험식을 contour plot의 가시적인 결과로 표현하여 공정최적화를 쉽게 유도할 수 있다.<sup>5), 6)</sup>

본 연구는 선택적 CVD 텅스텐 금속화 공정을 최적화하기 위해 통계적 기법을 실험에 적용한 결과이다. 공정 변수로는 온도, WF<sub>6</sub> 그리고 SiH<sub>4</sub>의 유량을 선택하고 수송 기체로서 수소와 아르곤으로 달리 사용하였을 때의 증착 속도를 측정하여 비교하였다. 또한 선택적 CVD 텅스텐 공정의 문제점으로 지적되고 있는 박막의 peel 현상을 관찰하였다. 이에 RSM의 통계적 기법을 적용하여 각 공정 변수의 함수인 경험식을 유도하였으며 증착 속도가 빠르며 박막의 peel 현상을 억제할 수 있는 최적화된 공정조건을 구하였다.

## II. Response surface method

통계적 기법으로 RSM은 식 1) 과 같이 실험 계획

과 data 해석이 수학적으로 결합되어 있으며 경험식을 유도하는 방법이다.<sup>7), 8)</sup> 여기서 Z는 실험 계획으로 구성된 공정 변수들의 행렬, y는 공정의 결과 (response),  $\theta$ 는 경험식의 계수, 그리고 E는 실험 오차항을 나타낸다.

$$y = Z\theta + E$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & \cdots \\ Z_{21} & \cdots & \cdots & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{n1} & \cdots & \cdots & Z_{np} \end{bmatrix} \quad \theta = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \vdots \\ \theta_n \end{bmatrix} \quad E = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

RSM에서 공정의 결과(response)는 수학적으로 연속성을 가져야 한다. 예를 들었던 연구에서 공정 결과로 선택한 박막의 peel 현상은 수학적으로 연속적이지 못하다. 따라서 박막의 peel 현상을 기판 전체에 대한 ratio로 표현하여 수치화하였을 때 이값은 연속성을 갖는 함수로 표현할 수 있다. 실험식의 계수는 다음 식 2)와 식 3)으로 표현되며 최소 자승법을 이용하여 얻는다. 여기서 Z'은 Z의 켈레 행렬이 되고 -1지수는 역행렬을 나타낸다.

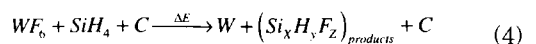
$$Z'Z\hat{\theta} = Z'y \quad (2)$$

$$\hat{\theta} = (Z'Z)^{-1}Z'y \quad (3)$$

공정 변수의 함수로 유도된 경험식은 그 타당성을 실험의 오차를 이용하는 통계적 분석으로 검증할 수 있다. 실험의 오차는 실험의 반복을 통한 표준 편차로 표현할 수 있고 구하고자 하는 모델의 계수의 수보다 많은 실험을 통하여 모델과 실험 data와의 편차를 가지고 lack-of-model-fit 방법으로 해석할 수 있다. 이 두 형태의 오차를 합쳐서 잔류 오차라고 표현하며 실험수와 모델 계수의 수 차이인 자유도를 가지고 모델의 타당성을 검토한다.

## III. 실험

SiH<sub>4</sub> 환원 반응을 이용하는 화학 기상 증착법에 의한 텅스텐 증착 반응식을 식 4)와 같이 표현할 수 있다. 여기서  $\Delta E$ 는 반응의 겉보기 활성화 에너지를 나타내고 C는 H<sub>2</sub>나 Ar 등의 수송 기체를 (carrier gas) 나타낸다.



식 4)에서 주요한 공정 인자로는 WF<sub>6</sub>, SiH<sub>4</sub> 의 분압 그리고 활성화 에너지와 관계있는 온도, 압력등이다. 본 실험은 주요 공정 변수로 서로 독립적인 WF<sub>6</sub>, SiH<sub>4</sub> 의 유량, 그리고 온도를 선택하여 텅스텐 박막의 증착 속도를 증가시키고 접합력을 향상시키는 최적화된 공정 조건을 통계적 실험 방법으로 구하고자 하였다. 그러나 선택적 화학 기상 증착은 증착의 선택성을 유지해야 하는 공정의 제한이 있다.

표 1. 실험에 적용한 3 공정 변수와 3 수준  
Table 1. Three process variables and levels.

Process factors	Coded test levels		
	[-1]	[0]	[+1]
Temperature (°C) X <sub>1</sub>	280	300	320
WF <sub>6</sub> flow rate (sccm) X <sub>2</sub>	15	20	25
SiH <sub>4</sub> flow rate (sccm) X <sub>3</sub>	8	10	12

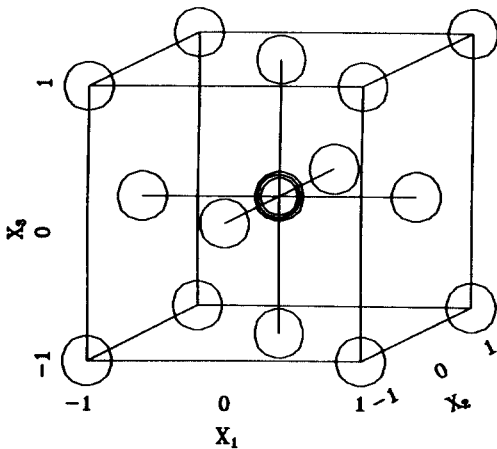


그림 1. 서로 독립적인 공정 변수인 온도(X<sub>1</sub> 280 ~ 320℃), WF<sub>6</sub> 유량(X<sub>2</sub> 15~25sccm), 그리고 SiH<sub>4</sub> 유량 (X<sub>3</sub> 8~12 sccm)의 code 화 시킨 통계적 실험 계획도

Fig. 1. Statistic experimental design with the coded values of the temperature (X<sub>1</sub> from 280 to 320 °C), WF<sub>6</sub> flow rate (X<sub>2</sub> from 15 to 25 sccm), and SiH<sub>4</sub> flow rate (X<sub>3</sub> from 8 to 12 sccm) as the independent variables.

따라서 반응물의비 (SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub>)를 1 이하가 되도록 하였고 각 반응물의 몰비 (반응물 유량/총유량) 는 5% 미만으로 조절하였으며 압력은 0.1 Torr 가 유지되도록 하였다.

실험 계획은 각 공정 변수를 <표 1> 과 같이 3 수준으로 하여 <그림 1>과 같이 면심입방체 모델로 구성하였다. 공정 변수 3, 수준 3 으로 실험을 하려면 27 (=3<sup>3</sup>) 가지의 실험이 필요하다. 그러나 본 연구에서는 RSM의 통계적 실험 방법으로 <그림 1>과 같이 15 가지의 실험에 반복점을 포함하여 17번만 실시 하게 된다. 즉 <표 2>에 matrix로 나타내었듯이 공정 변수 3, 수준 2 의 8 (=2<sup>3</sup>) 가지의 실험과 각각의 공정 변수 하나의 변화에 대한 효과를 보는 6 가지의 실험과 실험의 순수오차를 측정하는 3 번의 반복 실험으로 구성한다.

시편은 p 형 6" 기판을 사용하여 제작하였다. 기판 위에 PECVD 장비에서 BPSG 를 11000 Å 증착한 다음 고온(850~900℃)으로 고밀화 시킨 다음 노광 기술과 식각 기술을 이용하여 0.6~0.7μm<sup>2</sup> 과 50×50μm<sup>2</sup>의 콘택을 형성시켜 시편을 제작하였다. 제작된 시편에 텅스텐 박막을 선택적 증착하기 앞서 BOE (buffered oxide etchant) 100:1 용액에 thermal oxide 100Å strip 시킬 수 있는 시간동안 담그는 전처리를 실시하였다. 증착 특성은 전처리 방법 및 전처리 후 증착하기 까지의 지연시간에 민감하므로<sup>(9)</sup> 모든 실험에서 동일한 조건이 되도록 주의하였다.

텅스텐을 노출된 실리콘에 선택적으로 증착시킨 후 증착 속도는 0.6×0.7μm<sup>2</sup> 콘택의 SEM 단면 사진을 촬영 후 증착 두께를 측정하여 구하였다. 실험의 response 로 peel ratio 는 50×50μm<sup>2</sup> 콘택 39 개 중 peeling 이 일어난 콘택의 수를 광학 현미경으로 세어 비율로 나타내었다.

#### IV. 결과 및 고찰

<그림 2> 에 텅스텐 박막의 peel ratio 를 구하기 위한 패턴을 보이고 있다. 공정특성인 peel ratio는 <그림 2>의 오른쪽과 같이 박막이 일어난 경우의 수를 전체 패턴수(39)로 나누어 계산하였다. 본 실험에서 수송 기체로 수소를 사용한 경우, 대부분의 실험 조건에서 peel ratio 가 1 에 근사하여 최적화를 위한 통계적 처리의 의미가 없었다.

증착 속도와 온도의 역함수의 관계를 보여주는 Arrhenius plot 을 <그림 3> 에서 각각의 수송 기체에 대하여 나타내었다. 아르곤을 수송 기체로 사용하

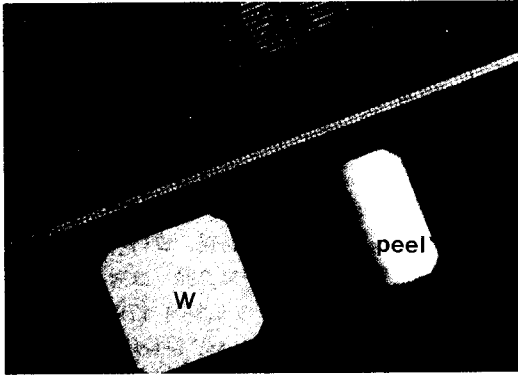


그림 2. 박막의 peel 현상이 일어난 텅스텐 박막을 보여주는 광학 현미경의 암영사진

Fig. 2. Dark field optical micrograph showing the peeled tungsten film.

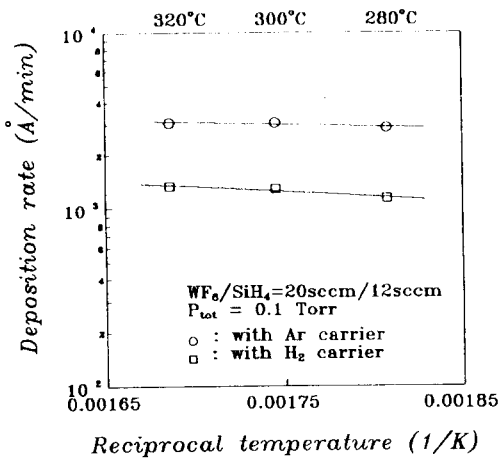
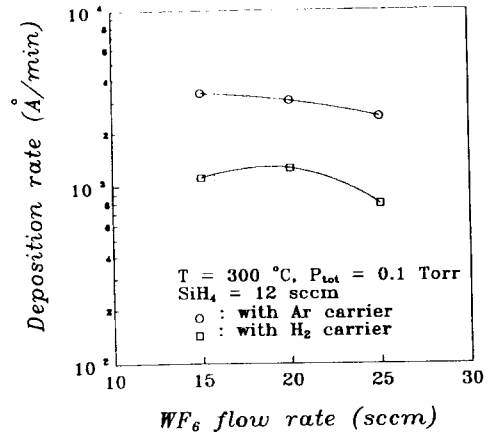


그림 3. 수송 기체로 수소와 아르곤에 대하여 온도 역수와 증착 속도를 표현한 선택적 CVD 텅스텐 공정의 arrhenius 그림

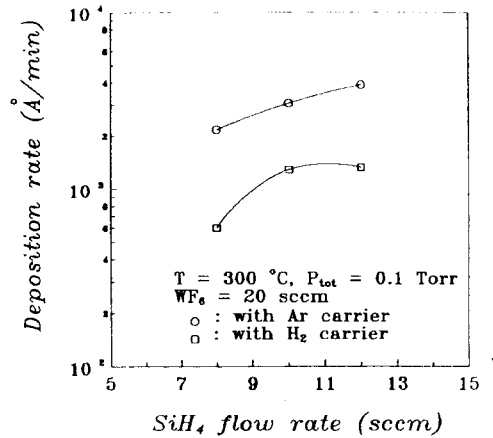
Fig. 3. Arrhenius plot of the selective tungsten deposition rate as a function of the reciprocal temperature with H<sub>2</sub> and Ar carrier gas.

는 경우가 높은 증착 속도를 나타내었다. 결보기 활성화 에너지는 수송 기체의 종류에 따라 각각 1.11 kcal/mol(아르곤), 2.67 kcal/mol(수소) 이었다. 따라서 수송 기체의 종류와 무관하게 반응물이 기상으로부터 확산되는 속도가 반응의 율속임을 보였다.

또한 각 반응물의 유량 변화에 대한 증착 속도의 변화를 <그림 4> 와 <그림 5> 에 나타내었다. 그림으



(a)



(b)

그림 4. 수송 기체로 수소와 아르곤이 각 반응물의 유량이 증착 속도에 미치는 영향

(a) WF<sub>6</sub> 유량 (b) SiH<sub>4</sub> 유량

Fig. 4. Effect of the reactants flow rate,

(a) WF<sub>6</sub> and (b) SiH<sub>4</sub>, on the deposition rate with H<sub>2</sub> and Ar carrier gas.

로부터 수송 기체가 아르곤인 경우에 증착 속도에 대하여 WF<sub>6</sub> 유량은 -0.6 지수 함수, SiH<sub>4</sub> 유량은 1.5의 지수 함수임이 관찰되었다. 그러나 수소를 사용한 경우는 유량 변화에 증착 속도 변화가 직선적이질 못하였다. 이러한 점에서 두공정 변수(반응물의 유량)의 교호 작용이 있었음이 사료되었다.

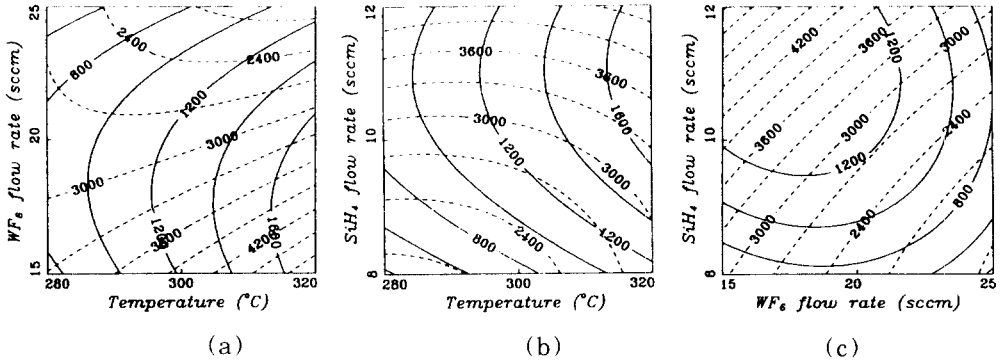


그림 5. 수송 기체로 수소(실선)와 아르곤(점선) 에 따라 증착 속도의 등고선도  
 (a) SiH<sub>4</sub> 유량이 10 sccm 일때 온도와 WF<sub>6</sub> 유량의 함수  
 (b) WF<sub>6</sub> 유량이 20 sccm 일때 온도와 SiH<sub>4</sub> 유량의 함수  
 (c) 온도가 300가 일때 WF<sub>6</sub> 유량과 SiH<sub>4</sub> 유량의 함수

Fig. 5. Contours of the constant deposition rate using H<sub>2</sub>(solid) and Ar(dashed) as function of.  
 (a) the temperature and the WF<sub>6</sub> flow rate at SiH<sub>4</sub> 10 sccm,  
 (b) the temperature and the SiH<sub>4</sub> flow rate at WF<sub>6</sub> 20 sccm,  
 (c) the WF<sub>6</sub> flow rate and the SiH<sub>4</sub> flow rate at 300°C.

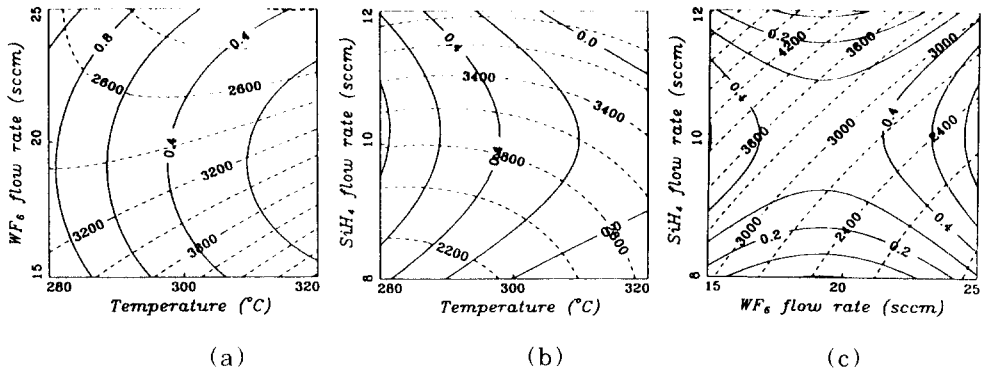


그림 6. 수송 기체로 아르곤을 사용시 peeling ratio (실선) 과 증착 속도(점선)의 등고선도  
 (a) SiH<sub>4</sub> 유량이 10 sccm 일때 온도와 WF<sub>6</sub> 유량의 함수  
 (b) WF<sub>6</sub> 유량이 20 sccm 일때 온도와 SiH<sub>4</sub> 유량의 함수  
 (c) 온도가 300°C 일때 WF<sub>6</sub> 유량과 SiH<sub>4</sub> 유량의 함수

Fig. 6. Contours of the constant peeling ratio (solid) and constant deposition rate (dashed) using Ar carrier gas as function of.  
 (a) the temperature and the WF<sub>6</sub> flow rate at SiH<sub>4</sub> 10 sccm,  
 (b) the temperature and the SiH<sub>4</sub> flow rate at WF<sub>6</sub> 20 sccm,  
 (c) the WF<sub>6</sub> flow rate and the SiH<sub>4</sub> flow rate at 300°C.

각 공정 변수가 증착 속도 및 peel ratio 에 미치는 영향을 알아보기 위하여 variance 분석을 하였다. <표 2> 의 matrix 일부(7~14)를 가지고 각 공정 변수가 증착 특성에 미치는 영향을 식 5)와 식 6)

을 이용 수치화하였다. 변수의 variance 분석은 세 반복점에 의한 실험 오차와 X<sub>1</sub>X<sub>2</sub>X<sub>3</sub> 의 잔류 오차로 식 7)과 같이 유도된 표준오차를 이용하였다. 각 공정 변수가 증착 특성에 미치는 영향의 수치화된 값

표 2. 통계적 기법에 의한 실험 계획 matrix  
Table 2. Experimental planning matrix by a statistical method.

실험	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	비 고
1	-1	-1	-1	Variance 분석 방법
2	1	-1	-1	
3	-1	1	-1	
4	1	1	-1	
5	-1	-1	1	
6	1	-1	1	
7	-1	1	1	
8	1	1	1	
9	0	0	0	Variance 분석외 순수 오차 산출 (반복점)
10	0	0	0	
11	0	0	0	
12	-1	0	0	2차식 모델링을 위한 실험
13	1	0	0	
14	0	-1	0	
15	0	1	0	
16	0	0	-1	
17	0	0	1	

(Effect)의 신뢰성을 표준 오차의 자유도에 대한 t 테스트 (Effect/표준 오차) 를 통하여 검증하였다. 또한 1 차 회귀 분석을 통하여 모델과 오차의 자유도에 대한 F 테스트 (모델의 평균제곱/오차의 평균제곱) 를 실시하여 모델링의 타당성을 검토하였다. 이러한 분석 결과를 <표 3>에 나타내었다.

$$X_{n,m} = 2 / T \sum_{i=1}^T i_{n,i} \cdot y_{m,i} \quad (5)$$

$$X_{l,m} \cdot X_{n,m} = 1 / T \sum_{i=1}^T i_{l,i} \cdot i_{n,i} \cdot y_{m,i} (l \neq n) \quad (6)$$

표준 오차 =  $(4^{-1} \cdot (\text{잔류오차 제곱합} + \text{순수오차 제곱합}) / \phi_{\text{오차}})^{1/2}$  (7)

- where n, l : 공정 변수 (1=온도, 2=WF<sub>6</sub> 유량, 3=SiH<sub>4</sub> 유량)
- m : 증착 특성 (1=수소 수송기체 일때 증착 속도, 2=아르곤 수송기체 일때 증착 속도, 3=peel ratio)
- i<sub>n,t</sub> : 실험 계획 matrix 에서 'n' 공정 변수의 't' 회 값 (+1 또는 -1)
- y<sub>m,t</sub> : 't' 회 실험의 'm' 증착특성 값
- T : 실험 횟수 (=8)
- t : 실험 번호 (1~8)
- X<sub>n,m</sub> : n 공정 변수가 m 증착 특성에 미치는

영향의 수치화된 값

$$\phi_{\text{오차}} : \text{잔류오차 자유도} + \text{순수오차 자유도}$$

표 3. Variance 분석 결과

Table 3. Analysis of variance.

공정 변수	증착 속도 (수송기체 : 수소)			증착 속도 (수송기체 : 아르곤)			peel ratio (수송기체 : 아르곤)		
	세정량	평균 제곱	F 값	세정량	평균 제곱	F 값	세정량	평균 제곱	F 값
온도	238974.22	472296.72	64.71 (99.9%)	306664.12	2241164.26	171.91 (99.1%)	9.977281	9.182790	12.87 (16.7%)
WF <sub>6</sub>	21757.22	15546.42		189646.26	18641.94		9.972277	9.997126	
순수오차	20000.00	20000.00		25647.75	154607.75		9.992251	9.999250	
순수오차	11727.22	4878.81		4388.17	2456.82		9.981164	9.916257	
공정 변수	Effect	F 값	신뢰성	Effect	F 값	신뢰성	Effect	F 값	신뢰성
mean	739.9	21.14	99.9	2624.2	21.27	99.9	9.2681	11.41	99.9
t, 온도	947.8	28.66	99.9	404.6	3.37	95.9	-0.2022	22.23	99.9
t, WF <sub>6</sub>	446.6	12.83	99.9	2976.4	23.56	99.4	0.4257	9.88	21.3
t, SiH <sub>4</sub>	446.6	12.83	99.9	1866.4	12.16	99.1	0.9642	3.15	64.8
t, t <sub>1</sub>	-166.6	-4.33	99.4	-1210.1	-7.92	97.2	-0.4257	-0.26	28.1
t, t <sub>2</sub>	66.6	1.78	28.8	-342.4	-2.35	68.9	-0.9642	-3.15	64.8
t, t <sub>3</sub>	166.6	4.34	99.4	-640.1	-4.07	88.6	0.9127	9.42	15.4
표준 오차					122.71			9.4288	

<표 3> 에서 각각의 공정 특성에 대한 variance 분석은 F 테스트 결과 99 % 의높은 신뢰성을 나타내었다. 즉 공정 변수가 공정 특성에 미치는 영향을 분석한 결과를 신뢰할 수 있게 되었다. 각각의 공정 변수가 증착 특성에 미치는 효과는 다음과 같다.

수소를 수소 수송 기체로 사용하는 경우, 증착 속도에 대하여 온도가 주요 공정 인자임을 t 테스트의 신뢰성 검증 결과 (99.9%) 에서 알 수 있다. 즉, 온도를 높이면 (+) 증착 속도는 증가 (+) 한다는 사실을 알 수있다. 또한 SiH<sub>4</sub> 유량은 증가, WF<sub>6</sub> 유량은 감소 시킬 수록 증착 속도가 빠르게 됨이 각각 99% 의 신뢰성을 가지고 보여준다. 그러나 두 공정 변수(반응물 유량)는 교호 작용이 있어서 두 반응물의 유량을 동시에 증가시키거나 감소시키는 경우에 증착 속도가 낮아짐을 예상할 수 있다.

반면 수소 수송 기체가 아르곤인 경우는 SiH<sub>4</sub> 유량이 적고(-), WF<sub>6</sub> 유량은 많을 수록 (+) 증착 속도의 증가를 99% 신뢰할 수 있고 두 공정 변수의 교호 작용 (X<sub>2</sub>X<sub>3</sub>) 이 작아서 SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub> 의 반응물 비가 주요 공정 인자라고 사료된다. 또한 박막의 peel ratio 는 온도에 의한 영향(99.9%)이 제일 크게 나타나므로 온도를 높일 수록 peel 현상이 억제됨이 판단된다.

최적 조건을 구하기 위하여 <표 2> 의 matrix 와 식 3)으로 최소 자승법을 이용 2차 회귀 계수를 구하였다. 이 계수를 이용 식 7) 과 같이 표현된 경험식을 세웠으며 이 식을 이용 두 공정 변수 변화에 대한 증착 특성 변화를 contour plot으로 <그림 5>와 <그림 6> 과 같이 표현하였다.

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{j=2}^n \sum_{i=1}^{j-1} b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2 \quad (7)$$

박막의 증착 속도를 빠르게 유지하면서 박막의

peel 을 억제하기 위하여 contour plot 을 통하여 최적화된 공정 조건을 구하였다. <그림 5>를 통하여 수송 기체에 의한 증착 속도 변화를 살펴 보면 수송 기체로 아르곤을 사용하는 경우가 높은 증착 속도를 얻어 경제적인을 알 수 있다. 수송 기체로 아르곤을 사용하여 박막의 벗겨진 정도와 증착 속도를 두 공정 변수에 대해 표현한 <그림 6>에서 증착 속도를 빠르게 하고 박막의 peel 현상을 억제하기 위해서는 온도는 300 ~ 320℃, SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub> 의 반응물의 비는 0.5 ~ 0.8 의 조건으로 최적화 된다. 반응물의 비 (SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub>)가 0.4 인 경우에도 박막의 peel 정도가 0.2 이하가 되어 접합성이 증대되지만 증착 속도가 2300Å/min으로 낮아서 경제적이질 못하다. 최적화된 공정 조건의 범위에서 증착 속도는 약 3500Å/min 정도 되며 박막의 peel ratio 는 0.3 이하가 된다. 박막의 peel ratio 는 RSM기법을 사용하기 위해 수치화한 공정 결과인데 이 수치는 절대적인 의미보다 경향을 보여준다고 사료된다. 이러한 최적화된 공정 조건에서 증착한 선택적 CVD 텅스텐의 콘택 특성도 우수하였다.<sup>[10]</sup>

## V. 결 론

선택적 CVD 텅스텐 공정에서 수송 기체가 증착 속도에 미치는 영향과 박막의 접합성을 증대시키는 최적 조건을 찾고자 RSM 의 통계적 기법을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 수소가 수송 기체의 경우는 박막의 접합성이 나빠졌다. (peel ratio = 1)
- 2) 수송 기체에 따른 텅스텐 증착 반응의 겉보기 활성화 에너지는 수소의 경우 2.67 kcal/mol, 아르곤의 경우 1.11kcal/mol 를 나타내서 반응물의 기상 확산 속도가 반응의 율속 단계임을 보였다. 각 반응물의 유량이 증착 속도에 미치는 영향은, 수송 기체가 아르곤인 경우에, WF<sub>6</sub> 유량의 - 0.6 지수 함수관계와 SiH<sub>4</sub> 유량의 1.5 지수 함수 관계를 보이고 있다. 그러나 수송 기체로 수소를 사용한 경우는 유량 변화에 증착 속도 변화가 직선적이질 못하였다.
- 3) Variance 분석을 통하여, 수송 기체로 수소를 사용한 경우에는 증착 온도가 증착 속도에 대한 주요 공정 인자이었다. 또한 SiH<sub>4</sub> 유량만의 증가에 따라 증착 속도는 증가하며, WF<sub>6</sub> 유량만의 증가에 대해서는 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 두 공정 변수 (반응물의 유량) 는 교호작용이 있어서 두 반응물을 동시에 증가시키

거나 감소시키면 증착 속도는 감소하는 경향을 알 수 있었다.

- 4) 아르곤을 수송기체로 사용한 경우는 증착 속도가 온도에 대해서는 영향이 미약하며 WF<sub>6</sub> 유량의 증가에 대해서는 감소, SiH<sub>4</sub> 유량의 증가에 대해서는 증가 하는 경향이 있었다. 그리고 두 공정 변수(반응물의 유량)의 교호 작용이 작아서 증착 속도에 대한 주요 공정 인자는 반응물 유량비(SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub>)임을 알 수 있었다. 텅스텐의 peeling ratio 는 온도에 대해서만 영향이 있으며 온도가 증가 할 수록 peel 현상이 억제됨을 예상할 수 있었다.
- 5) 텅스텐 박막의 증착 속도가 빠르고 peel 현상도 억제하는 조건은 수송 기체 로 아르곤을 사용하고 온도가 300~320℃ 범위, SiH<sub>4</sub>/WF<sub>6</sub> 의 반응물 비가 0.5 ~ 0.8 에서 최적화됨을 보였다. 이때의 증착 속도는 3500Å/min 이고 peel ratio 는 0.3 이하임을 알 수 있었다.

## 參 考 文 獻

- [1] T.Ohba, "Multilevel Metallization Trends in Japan", *Advanced Metallization for ULSI Applications*, ed. V.V.V. Rana, R.V.Joshi, and I.Ohdormari (Materials Research Society, Pittsburgh, PA., 1992) pp.25-34.
- [2] 최 경근, 황 성보, 박 홍락, 고 철기, "접합층을 이용한 선택 텅스텐 화학기상증착 공정 연구", 전자공학회지, 제29권 A편 제12호, pp. 110-117, 1992.
- [3] 황 성보, 최 경근, "Selective Tungsten 을 이용한 Contact Plug 형성 기술에 관한 연구", 현대전자 사내 기술 문서, #K1-91-43, 1991.
- [4] K.K.Choi, S.B.Hwang, H.L.Park and C.G.Ko, "A New Selective W-CVD Process Using Poly Si Glue Layer", 9th IEEE VMIC conf., Santa Clara, CA., pp.286-288, 1992.
- [5] 황 성보, "Response surface method 를 이용한 전면성 텅스텐 공정 최적화 연구", 현대전자 사내 기술 문서, #SK32-92-11, 1992.
- [6] 황 성보, "텅스텐 실리사이드 stepcoverage 개선 연구", 현대전자 사내 기술 문서, #K1-91-16, 1991.

[ 7 ] G.E.P.Box et al., *Empirical Model Building and Response Surfaces* (John Wiely & Sons, New York, 1987), chap. 1.4,5,7.

[ 8 ] G.E.P.Box et al., *Statistics for Experiments: An introduction to Design, Data analysis and Model Building* (John Wiely & Sons, New York, 1978), chap.15.

[ 9 ] 김 춘환, 최 경근, "선택적 텅스텐 화학 기상 증착법의 고단차 콘택 적용 및 전처리 에 관한 연구 ", 현대전자 사내 기술 문서, #SK32-92-25, 1992.

[10] 황 성보, 이 종근, 김 남수, 박 홍락, 고 철 기, "초미세 소자에서의 선택 화학 기상 증착 법에 의한 텅스텐 박막의 전기적 특성", 씨에 이디, 전자계산, 반도체 및 부품 합동 학술 발표 회 논문집, 제 9권 1호, pp.857-860, 1991.

— 著 者 紹 介 —

黃 成 輔(正會員) 第 29 卷 A 編 第 12 號 參照  
 현대전자 (주) 반도체 연구소 주임  
 연구원

崔 環 根(正會員) 第 29 卷 A 編 第 12 號 參照  
 현대전자 (주) 반도체 연구소 주임  
 연구원

朴 興 洛(正會員) 第 29 卷 A 編 第 12 號 參照  
 현대전자 (주) 반도체 연구소 책임  
 연구원

高 哲 基(正會員) 第 29 卷 A 編 第 9 號 參照  
 현대전자 (주) 반도체 연구소 수석  
 연구원