

실험계획법을 이용한 대구경용 코발트 박막의 스퍼터 조건 최적화

정성희* · 송오성

서울시립대학교 공과대학 신소재공학과, 서울시 동대문구 전농동 90번지 130-743

(2002년 10월 1일 받음, 2002년 11월 15일 최종수정본 받음)

직경 200 mm의 실리콘 기판에 균일한 코발트 금속박막을 증착하는 DC-스퍼터 장비에서 공정변수는 증착온도, 증착압력, DC power로 하고 종속변수(response)는 면저항, 면저항 균일도로 하는 “통계적 실험방법”을 채택한 실험을 수행하여 Co 박막의 공정 특성에 대해 다음과 같은 결과를 얻었다. “통계적 실험방법”을 이용한 Co 박막의 공정 특성을 조사하는 본 실험에서 면저항과 면저항 균일도는 0.05 이하의 significance 수치, 낮은 RMS error, 0.91 이상의 R-sq 수치로부터 실험의 우수한 신뢰성을 확인하였다. 면저항에 대한 공정변수의 영향성은 증착온도가 $-1.83 \Omega/\square$ 의 감소효과, 증착압력이 $1.17 \Omega/\square$ 의 증가 효과, DC power가 $-0.65 \Omega/\square$ 의 감소 효과로 실험 구간에서 일정한 경향의 영향성을 보였으며, 면저항 균일도에서는 증착온도에 의해 25 °C~147 °C에서 -4.04 %의 감소로 증착온도에 가장 민감함을 확인하였다. Co 박막의 최적 증착 조건은 증착온도 25 °C, 증착압력 12 mTorr, DC power 1500 W로 예상되었다.

주제어 : 고발트 증착, 통계적 실험설계, 면저항, 면저항 균일도

I. 서 론

실리콘 기판을 채용한 경우에서 기존의 반도체 공정의 Al 금속 및 SiO₂ 등 절연막층 뿐만 아니라 Co, Ni, Fe 등 전이금속 계열의 증착 조건이 여러 가지 이유로 점점 중요해지고 있다.

첫째는 강자성메모리(magnetic random access memory : MRAM)의 출현과 함께 Co, Ni, Fe 등의 수십 Å 두께를 전체 기판에 대해 균일하게 증착할 요구가 생겼다. MRAM에 요구되는 자기저항 특성은 이러한 박막의 수 Å 두께에 급격히 변화할 수 있으므로[1-3] 이러한 특성을 고려하여 15 nm 이하의 원하는 두께를 200 mm 이상의 대구경 기판에 균일하게 증착할 수 있는 기술이 필요하다[4, 5].

두번째는 Co, Ni을 실리콘 기판전면에 증착하고 이를 열처리하여 CoSi₂, NiSi 등 목적하는 실리사이드 물질을 만들어 MOSFET의 게이트와 활성화 영역의 접촉저항은 작게 하면서도 기존 배선재료인 알루미늄의 실리콘 확산을 방지할 수 있는 확산방지층으로서의 역할을 하게 하는 살리사이드(self-aligned silicide) 공정을 위해서도 200 mm 이상에서의 기판전면에 균일한 코발트 금속박막의 증착은 중요하다.

이러한 자성박막의 균일한 증착기술은 회로 자성박막을 카보닐계의 식각물질을 이용하여 건식식각이 가능하게 되어 MRAM[6] 및 로직디바이스에 배선물질로 채용된다면 더욱 기술적 수요가 증가하리라고 예상된다[7].

현재까지 반도체 공업에서 대구경 기판에 균일한 금속증착

은 주로 높은 플라즈마 밀도 하에서 빠른 증착을 위해 ME (magnetic enhanced), 또는 ICP(inductively coupled plasma) 스퍼터를 써서 증착이 이루어진다. 이러한 장비의 특징은 전기장과 자기장을 수직하게 배치하여 전자의 활성화경로를 크게 하여 플라즈마 밀도를 크게 하려는 노력이 이루어지고 있으나 자성박막인 경우, 얇은 강자성 타겟물질 자체가 수평 자기장을 형성하므로 기존장비에 대해 이러한 수평자기장을 해소할 정도로 타겟 두께를 얇게 한다든지 하는 기술적 배려가 필요하다.

이와 같이 대량생산을 위해 대구경 기판에 균일하게 자성 금속 박막을 성막시킬 필요는 커지고 있으나 코발트 등의 자성물질이 반도체 공업에 도입된지 얼마 안 되기 때문에 기존 장비를 이용하여 공정을 최적화시키기 위해서는 스퍼터의 증착 주요 공정변수인 증착온도, 증착압력, DC power, 바이어스 정도, 타겟과 기판과의 거리 등 많은 변수를 변화시키며 최종 박막증착의 두께 균일성을 확인해야 하므로 각 변수별로 매우 많은 실험 양이 필요하고 이에 따라 비용이 증가되는 문제점이 있었다.

이러한 문제를 해결하기 위해 통계적 실험 방법은 적은 실험 횟수에 비해 많은 양의 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다[8]. 특정 공정변수에 대하여 실험 설계(experimental design)를 프로그램이 제공하고 공정변수에 따라 실험을 실시하여 각 실험 조건에 대한 종속변수(response)를 얻어서 적은 실험 양으로 최적의 공정조건을 확보할 수 있다. 즉, 같은 공정변수와 종속변수의 함수 관계를 software에 의해 얻고, 미 실험 지역의 종속변수는 얻어진 함수 관계에 의해 추출하는 것이다.

*Tel: (02) 2210-2604, E-mail: shcheong@sidae.uos.ac.kr

본 연구에서는 독립변수를 공정변수인 증착온도, 증착압력, DC power로 설정하였고, 종속변수는 반응(response)인 면저항, 면저항 균일도로 하였다.

따라서 본 연구는 200 mm 직경의 실리콘 기판에 Co 박막을 DC 스퍼터기로 증착함에 있어서 통계적 실험방법인 실험계획법을 채용하여 16번의 실험으로 증착온도, 증착압력, DC power의 세가지 공정변수에 대해 Co 박막의 증착 면저항과 균일도가 최적화 되는 최적조건을 알아보고자 하였다.

II. 실험 방법

Co 박막의 증착은 직경 200 mm의 p형(100)면을 가진 실리콘 기판 전면이 두께 100 nm의 균일한 열산화막을 생성시키고, DC-스퍼터기로 기판전면에 코발트를 증착하였다. 이때 99.99 %의 순도를 가지는 직경 12.98 inch와 두께 1 mm의 코발트 타겟을 사용하여 기판전면에 20 nm의 코발트를 증착하였다. 스퍼터링은 DC magnetron을 이용하여 Ar plasma 상태에서 진행하였으며, 스퍼터링시 챔버 초기 진공도는 1.0×10^{-6} Torr 이었고 증착 과정의 진공도는 약 10^{-3} Torr를 유지하였다.

통계적 실험 계획법에 따른 Co 증착조건 최적화를 위해 증착온도, 증착압력, DC power의 세가지를 이용하여 진행하였는데, 각 조건에 대한 동일 두께에 대해 비교하기 위하여 2단계에 걸쳐 Co 박막을 증착하였다.

일차적으로는 먼저 Co 박막의 증착속도를 확인하였는데, DC 스퍼터링에서의 Co 박막의 증착속도는 DC power에 절대적으로 의존하기 때문에 실험 조건에 사용된 500 W, 1000

Table II. Response values by process condition.

NO	Condition			Measured result	
	Temperature (°C)	Pressure (mTorr)	DC power (W)	Rs (Ω/\square)	Rs uniformity (%)
1	25	12	500	8.331	4.24
2	200	12	500	6.356	6.04
3	25	20	500	13.47	3.49
4	200	20	500	7.981	3.84
5	25	12	1500	7.778	2.93
6	200	12	1500	6.648	4.66
7	25	20	1500	8.994	3.45
8	200	20	1500	6.903	3.76
9	25	16	1000	8.726	3.92
10	200	16	1000	6.987	5.25
11	100	12	1000	7.165	4.62
12	100	20	1000	8.082	5.07
13	100	16	500	8.163	5.91
14	100	16	1500	7.452	4.49
15	100	16	1000	7.611	4.95
16	100	16	1000	7.565	4.85

W, 1500 W에 대해 증착속도를 확인하였다. 세가지 조건으로 증착된 박막의 두께는 투과전자현미경(transmission electron microscope)을 이용하여 정밀한 두께를 증착하였는데, 얻어진 증착속도는 각각 5.24 Å/sec, 10.44 Å/sec, 14.91 Å/sec 이었다.

이차적으로 세가지 공정 조건에 따른 Co 박막의 증착 실험은 Table I와 같은 16가지의 조건에 대해 통계적 실험방법으로 열산화막 100 nm의 기판에 각 조건별 20 nm의 동일 두께에 대해 박막을 증착한 후, 면저항과 면저항 균일도를 측정하여 Table II에 정리하였다.

면저항(Rs)은 사점시험기(four-point probe)를 이용하여 49 점을 측정하고, 면저항 균일도(Rs uniformity)는 3σ 기준으로 데이터를 수집하였다.

III. 실험계획 및 모델의 설정

공정변수는 Table III과 같이 증착온도, 증착압력, DC power의 세개로 설정하고, 앞의 변수에 대한 중심점[0]을 조건 100 °C, 16 mTorr, 1000 W(watt)로 하였다. 그리고 변수 범위는 ± 100 °C, ± 4 mTorr, ± 500 W에 대해 실험계획법 설계를 이용하여 Table I과 같은 실험 matrix를 얻었다. 15개의 독립된 조건에 하나의 추가적인 중심 조건을 포함하여 16개의 실험을 진행하였으며, 하나의 중심점 추가는 실험 가변성을 보정하기 위하여 설정된 것이다.

실험 모델은 공정변수와 종속변수 간의 함수 관계의 설정을 나타내는 것인데, 본 실험에서는 독립변수(공정변수)의 이

Table I. Experimental design and experimental conditions.

NO.	Temperature	Pressure	DC power	Temperature	Pressure	DC power
1	-1	-1	-1	25	12	500
2	+1	-1	-1	200	12	500
3	-1	+1	-1	25	20	500
4	+1	+1	-1	200	20	500
5	-1	-1	+1	25	12	1500
6	+1	-1	+1	200	12	1500
7	-1	+1	+1	25	20	1500
8	+1	+1	+1	200	20	1500
9	-1	0	0	25	16	1000
10	+1	0	0	25	16	1000
11	0	-1	0	100	12	1000
12	0	+1	0	100	20	1000
13	0	0	-1	100	16	500
14	0	0	+1	100	16	1500
15	0	0	0	100	16	1000
16	0	0	0	100	16	1000

Table III. Range of process parameters.

Experimental factor	Experimental level		
	[-1]	[0]	[+1]
Temperature(°C)	0	100	200
Pressure(mTorr)	12	16	20
DC power(W)	500	1000	1500

차 다항 관계로 표시되는 “quadratic model”로서 종속변수(response: Rs, Rs uniformity)를 표현하였다. 일반적으로 “quadratic model”의 관계식은 다음 식 (1)과 같이 표현된다[9].

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i \chi_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} \chi_i \chi_j + \epsilon \quad (1)$$

여기서 각각 η 은 종속변수(response), β_0 는 함수의 상수(constant), χ_i 는 독립변수(independent value), β 는 이차 다항식의 계수(regression coefficient), ϵ 는 잔여 수치(residual value)를 나타낸다.

IV. 모델 검증

실험 계획법의 설계에 따라 실시된 실험 수행 후 공정변수와 실험 결과를 통계적 실험 프로그램을 이용하여 Table IV와 같은 회귀계수(regression coefficient)와 Table V의 ANOVA (analysis of variance) 결과를 얻었다.

Table IV에서의 각 모델의 계수들에서 양의 값은 그 종속변수를 증가시키는 영향을 나타내고 음의 수치는 감소시키는 효과를 나타내며, 계수의 절대 값이 클 수록 그 효과는 크다는 것을 의미한다[9]. 그리고 Table IV의 “RMS error”는 채택되어진 각 종속변수의 적합 모델(fit model)에 의해 설명되어지지 않는 수치를 나타내는데, 그 단위는 종속변수의 단위와 동일하다. 그리고 Table V의 ANOVA 결과에서는 각 모델의 신뢰성을 검토해 볼 수 있는데, 항목은 degree of freedom(df), sum square, mean square, F-ratio, significance로 구성되어져 있으며 각 항목의 구성 요소와 관계는 다음과

Table IV. Regression coefficients of quadratic model for responses.

Item	Rs	Rs uniformity
Constant	7.639	5.115
Temperature	-1.180	0.870
Pressure	0.630	-0.245
DC power	-0.365	-0.423
Temperature*pressure	-0.197	-0.429
Temperature*DC power	0.170	-0.004
Pressure*DC power	-0.280	0.321
Temperature ²	0.434	-0.955
Pressure ²	-0.041	-0.377
DC power ²	0.143	-0.022
RMS error	0.159	0.401

같다[9].

$$\text{sum square} = \sum (y - \bar{y})^2$$

(y: response, \bar{y} : response의 average)

$$\text{mean square} = \text{sum square} / \text{df}$$

$$\text{F-ratio} = \text{regression mean square} / \text{residual mean square}$$

$$\text{R-sq} = \text{regression sum square} / \text{total sum square}$$

Table IV에서 각 공정변수의 일차와 이차의 함수에 대한 각 계수의 부호(+, -)로 증감효과를 확인할 수 있는데, 일차항만으로 분석할 때 먼저항에 대해서 공정변수 중 +0.630의 수치로 증착압력만 증가효과를 주는 것으로 나타났다. 먼저항 균일도에 대해서는 증착온도의 회귀계수가 +0.870로 증가시키는 효과를 보였다.

RMS error는 먼저항과 먼저항 균일도에서 각각 +0.159과 0.401으로 두 종속변수에 대한 상수인 7.639과 5.11에 비해 매우 낮으므로, 이 실험에서 독립변수인 공정조건이 두종속변수와 잘 일치되는 함수관계를 갖는 것으로 판단된다.

공정변수와 공정 결과에 의해 얻어진 모델의 신뢰성을 유의 수준 0.05로 하여 고찰해 보면 회귀(regression)에서 먼저항과 먼저항 균일도는 각각 significance가 0.0006과 0.0125로 0.05 이하가 되어 신뢰성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

Table V. Results of ANOVA (analysis of variance).

Source	Sheet resistance					Rs uniformity				
	df	sum sq.	mean sq.	F-ratio	signif.	df	sum sq.	mean sq.	F-ratio	signif.
Total	14	7.963				14	11.569			
Regression	9	7.836	0.871	34.32	0.0006	9	10.603	1.178	7.32	0.0125
Linear	3	7.136	2.379	93.77	0.0001	3	5.179	1.726	10.72	0.0080
Non-linear	6	0.700	0.117	4.60	0.0576	6	5.424	0.904	5.61	0.0272
Residual	5	0.127	0.025			6	0.966	0.161		
R-sq.			0.984					0.917		

모델의 회귀는 linear 부분과 non-linear 부분으로 나누어 신뢰성을 Table V의 결과로서 검증할 수 있다. 면저항은 linear 부분과 non-linear 부분이 significance가 각각 0.0001과 0.0576으로 non-linear 부분이 약간 높은 결과를 보였지만 양호한 결과를 보였다. 면저항 균일도는 significance가 각각 0.0080과 0.0272로 0.05 이하가 되어 우수한 신뢰성을 보였다.

또, 회귀 모델의 적합 정도를 조사할 수 있는 결정 계수(R-sq)는 적합화(fitting)의 정도가 좋을 수록 1에 가까워지는데[9], 두 종속변수 모델에서 면저항과 면저항 균일도는 0.9841과 0.9165로 회귀 방정식에 우수한 일치성을 보였다.

따라서, 세가지 독립변수에 의한 16가지의 실험조건에 의해 얻어진 두 종속변수의 실험 신뢰성은 RMS error 수치, significance 및 R-sq.의 수치로 판단할 때 매우 우수한 것을 알 수 있다.

V. 실험 결과

5.1. 면저항

16개의 조건에 대한 면저항의 결과 및 분석은 Table II와 Fig. 1-4에 나타내었다. Table II는 각 실험 조건에 대한 면저항 값을 나타낸 결과이다. Fig. 1-3은 세가지 변수 중 조건 하나를 중심으로 고정할 경우 두 변수에 대한 종속변수의 거동을 등고선 그림(contour plot)으로 나타낸 것이며, 특히 Fig. 4는 면저항에 대한 공정 변수의 영향성을 막대 그림으로 나타낸 것이다.

Fig. 1의 DC power와 증착압력 관계 그림에서 압력의 12 mTorr~20 mTorr의 범위에서 면저항 수치는 약 7.0 Ω/□~8.8 Ω/□의 변화로 적은 차이를 나타내었고, 효과의 경향성은 일정하게 유지되었다. DC power는 power의 증가에 따라 면저항의 감소 효과는 있지만, 증착압력이 감소할수록 영향성이 적어졌다. Fig. 2의 DC power와 증착온도의 관계에서는 증착온도 증가에 따라 면저항 수치는 9.8 Ω/□→7.0 Ω/□로 감소하는 경향을 보였고, 100 °C 이상에서는 면저항에 대한 효과가 감소하였다. DC power의 영향성은 앞의 Fig. 1에서와 같이 power의 증가에 따라 면저항 감소 효과는 있지만 뚜렷한 경향성은 없었다. Fig. 3의 증착압력과 증착온도의 관계에서 증착온도의 전구간에 걸쳐 9.5 Ω/□→6.5 Ω/□의 감소로 3 Ω/□의 감소 효과가 있었지만, 동일 온도의 전 압력 구간에서 약 1.5 Ω/□의 차이를 나타내었다.

Fig. 4와 같이 면저항 종속변수에 대한 효과는 증착온도(25 °C~200 °C)에서 -1.83 Ω/□의 감소 효과가 있고, DC power는 실험의 전체 구간(500 W~1500 W)에서 -0.65 Ω/□의 감소 효과가 있었다. 그리고, 면저항 종속변수에 대한 증착압력(12 mTorr~20 mTorr)는 1.17 Ω/□의 증가 효과가 있었다. 따

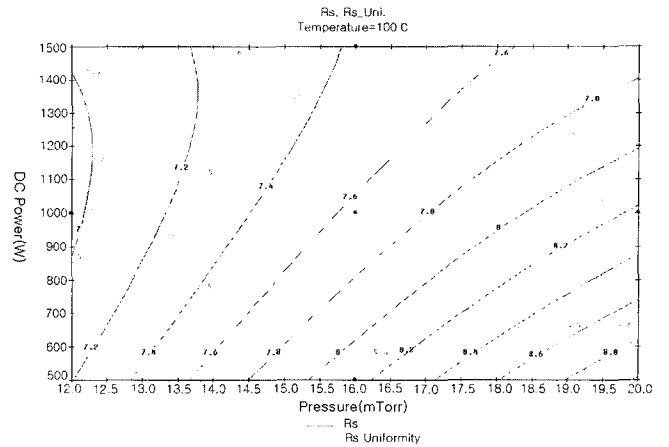


Fig. 1. The behavior of sheet resistance and sheet resistance uniformity by process parameters of DC power and pressure with fixed temperature of 100°C.

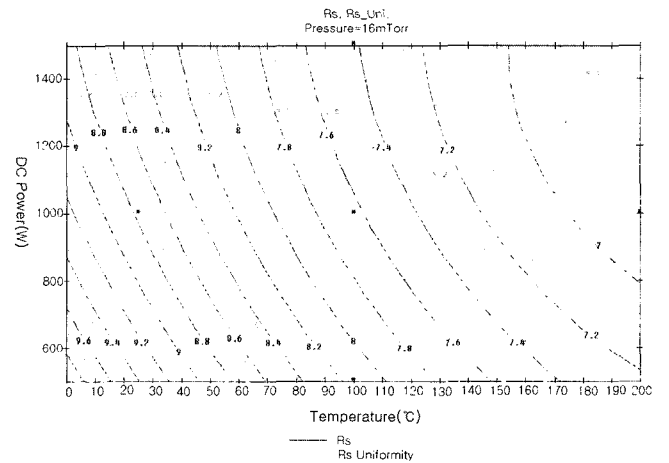


Fig. 2. The behavior of sheet resistance and sheet resistance uniformity by process parameters of DC power and temperature with fixed pressure of 16 mTorr.

라서 면저항에 대하여 온도와 DC power는 감소 효과가 있고, 압력은 증가 효과가 있다. 온도에 대한 감소는 온도 증가에 따른 Co 박막의 입자 크기 증가 효과로 해석된다.

5.2. 면저항 균일도

16개의 조건에 대한 면저항 균일도에 대한 결과 및 분석은 Table II와 Fig. 1-3, 5에 나타내었으며, Table II는 각 실험 조건에 대한 면저항 균일도를 나타낸 결과이다. Fig. 1-3은 세가지 변수 중 조건 하나를 중심으로 고정할 경우 두 독립변수에 대한 종속변수의 거동을 면저항과 같이 등고선 그림(contour plot)으로 나타낸 것이며, Fig. 5는 면저항 균일도에 대한 공정변수의 영향성을 막대 그림으로 나타낸 것이다.

Fig. 1의 면저항 균일도에 대한 DC power와 증착압력의

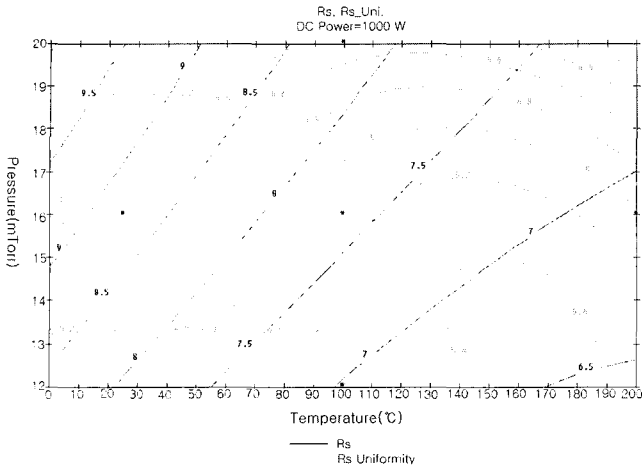


Fig. 3. The behavior of sheet resistance and sheet resistance uniformity by process parameters of pressure and temperature with fixed DC power of 1000W.

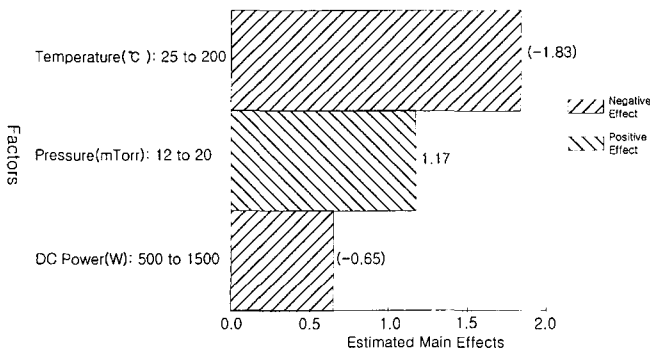


Fig. 4. The effect of three process parameters on sheet resistance.

관계에서 DC power의 증가에 따라 5.6 %에서 4.4 %의 감소로 영향성이 일정하게 유지되었으며, 증착압력에 따라서는 14.5 mTorr까지는 균일도에 대한 영향성이 없지만 14.5 mTorr 이상에서는 DC power에 따라 5.6 %에서 4.4 %로 감소하였다. DC power와 증착온도의 관계를 나타내는 Fig. 2에서 147 °C 까지의 온도 구간까지 비례적으로 증가하는 것을 보이고, DC power에서는 power의 증가에 따라 증가는 하지만 온도에 대한 영향성 보다는 작았다. Fig. 3의 면저항 균일도에 대한 증착압력과 증착온도의 관계에서는 온도에 대해서는 147 °C 까지 영향성이 일정하게 유지되었는데, 증착온도가 증가함에 따라 면저항 균일도는 3.0 %에서 5.4 %로 증가하였다. 증착압력에 대해서는 0 °C~150 °C와 12 mTorr~14.5 mTorr의 영역에서는 Fig. 3에서와 같이 압력 증가에 대해 균일도는 증가하지만, 14.5 mTorr 이상에서는 균일도가 감소하는 경향을 보였다.

면저항 균일도에 대한 공정 변수의 효과는 Fig. 5와 같이 온도는 1.39 %의 증가 효과가 있고, DC power와 증착압력

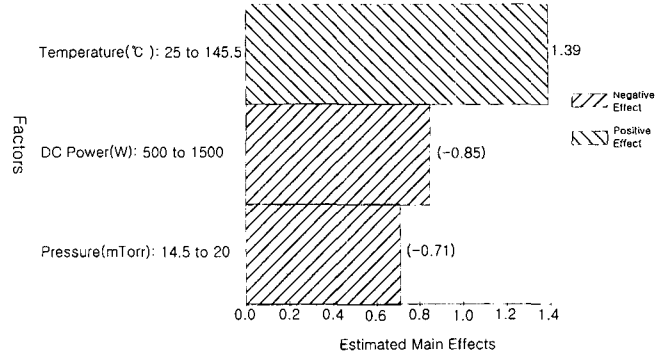


Fig. 5. The effect of three process parameters on sheet resistance uniformity.

은 각각 -0.85 %와 -0.71 %의 감소 효과를 보였다. 특히 압력은 14.5 mTorr~20 mTorr의 부분적인 구간에서 -1.59 %~0.17 %로 영향성의 효과가 일정하지 않았다.

VI. 최적의 공정 조건

세가지 공정변수(증착온도, 증착압력, DC power)에 대한 각 종속변수의 결과를 “통계적 실험방법” 프로그램을 이용함으로써, 종속변수에 대한 최적 조건을 얻기 위한 공정변수의 최적 조건을 Table VI와 같이 추출하여 정리하였다.

Table VI과 같이 두 종속변수의 최적 조건은 최소화(minimize)로 설정하였는데, 두 종속변수에 대한 최적 조건은 서로 일치하지 않으므로 박막의 적용 목적에 따라 다르게 설정할 필요가 있을 것으로 생각된다.

Co 박막을 RTA(rapid thermal annealing)에 의한 CoSi₂ 공정에 적용할 경우와 강자성 메모리에의 적용을 가정하면 면저항 균일도가 가장 중요한 종속변수일 것으로 판단된다. 즉, 면저항 수치는 Ti 중간층의 적용[10, 11]과 Co 박막 두께 조절에 의해 소자의 요구조건을 만족시키는 것은 어렵지 않을 것으로 생각된다. 면저항 균일도는 CoSi₂ 공정이 Co 원자의 이동에 의해 하부 실리콘 층과의 반응에 따라 형성되므로 wafer 수준의 CoSi₂ 박막 두께에 가장 큰 영향을 줄 것으로 판단된다. 또한, 강자성 메모리 소자에서는 박막의 균일도에 따라 자기저항특성이 급격히 변화하므로 균일한 증착은 매우 중요하다.

따라서, 면저항 균일도에 대한 최적 조건을 Co 박막에 대한 최적 조건으로 설정하는 것이 타당할 것으로 보인다. 면저항 균일도 조건에서 압력은 CoSi₂ 공정을 위해서는 낮은 수치를 유지해야 불순물의 유입 방지에 유리하므로 12 mTorr로 설정하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 압력은 면저항 균일도에 주는 효과가 Fig. 5와 같이 14.5 mTorr~20 mTorr에서

Table VI. Optimum conditions of Co film on responses

Response	max/min	Optimum condition		Optimum value	
Sheet resistance	min	Temperature	199.99	Rs	6.407
		Pressure	12		
		DC power	808.08	Rs uniformity	5.610
Rs uniformity	min	Temperature	0.0202	Rs	9.366
		Pressure	19.999		
		DC power	1499.9	Rs uniformity	2.978

-0.71%로 작으므로 최적 압력 설정에 무리가 없을 것으로 판단된다.

따라서 이 실험으로 부터 CoSi_2 형성을 위한 Co 박막의 공정 조건은 증착온도(25 °C), 증착압력(12 mTorr), DC power (1500 W)로 최적화가 가능하였다.

VII. 결 론

스퍼터링 장비에서 Co 박막을 위한 증착공정에서 공정변수로 증착온도, 증착압력, DC power로 하고 종속변수를 면저항, 면저항 균일도로 하는 “통계적 실험방법”을 적용한 실험을 수행하여 Co 박막의 공정 특성을 평가하였다.

면저항과 면저항 균일도에서 모델에 대한 significance 수치는 각각 0.0006과 0.0125로 0.05 이하였고, RMS error도 낮은 수치를 보였다. 또한, 회귀 모델의 적합 정도를 나타내는 결정 계수(R-sq)에서 면저항과 면저항 균일도는 0.9841과 0.9165로 양호한 일치성을 보이므로, 실험의 신뢰성은 아주 우수한 것으로 판단된다.

종속변수에 대한 공정변수의 효과는 면저항에서 공정 변수인 증착온도가 $-1.83 \Omega/\square$ 의 감소효과, 증착압력이 $1.17 \Omega/\square$ 의 증가 효과, DC power가 $-0.65 \Omega/\square$ 의 감소 효과로 실험 구간에서 일정한 경향의 영향성을 보였다.

면저항 균일도에서는 온도가 25 °C~147 °C에서 -4.04 %의 감소 효과, 증착압력이 14.5 mTorr~20 mTorr의 범위에서 -0.71

%의 감소 효과, DC power가 500 W~1500 W에서 -0.89 %의 영향성을 보였다.

비메모리소자 또는 강자성 메모리 공정을 상정한 Co 박막의 최적 조건은 면저항 균일도를 기준으로 하여 증착온도는 25 °C, 증착압력은 12 mTorr, DC power는 1500 W로 결정되었다.

감사의 글

본 연구는 테라급나노소자개발사업단의 테라급나노소자개발사업(과제번호 M101KC010001-01K030100000) 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] T. Saito, M. Fujita, K. Fukuoka and Y. Syono, J. Jap. Inst. Metals, **62**(5), 457 (1998).
- [2] S. Guruswamy, M. K. McCarter, J. E. Shield and V. Panchanathan, J. Appl. Phys. **79**(8), 4851 (1996).
- [3] M. Leonowicz, W. Kaszuwara, E. Jerieroka, D. Januszewski, G. Mendora, H. A. Davies and J. Paszula, J. Appl. Phys., **83**(11), 6634 (1998).
- [4] O. S. Song, J. Kor. Magn. Soc., **11**(5), 184 (2001).
- [5] K. Y. Lee and O. S. Song, J. Kor. Magn. Soc., **12**(4), 127 (2002).
- [6] S. Tehrani, H. Shi and G. Kerszykowski, J. Appl. Phys., **85**, 5822 (1999).
- [7] C. Detavernier, R. L. Van Meirhaeghe, and F. Cardon, Journal of Applied Physics, **88**, 133 (2000).
- [8] C. G. Bucher, U. Bourgund, Structural Safety, **7**, 57 (1990).
- [9] R. Myers, D. Montgomery, Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using Designed Experiments, Wiley & Sons, New York, (1997).
- [10] P. A. Bennett, D. J. Smith, and I. K. Robinson, Applied Surface Science, **180**, 65 (2001).
- [11] K. Maex, A. Lauwers, P. Besser, E. Kondoh, M. de Potter, and Steegen, IEEE Transactions on Electron Devices, **46**(7), 1545 (1999).

Optimizing the Cobalt Deposition Condition using the Experiment Design

Seong Hwee Cheong* and Oh Sung Song

*Department of Materials Science and Engineering, The University of Seoul 90 Cheonnong-dong,
Tongdaemun-gu, 130-743 Seoul, Korea*

(Received 1 October 2002, in final form 15 November 2002)

The statistical experiment method is employed to optimize the deposition condition of Co film with DC magnetron sputtering process. The statistical treatment results showed the significance value below 0.05, low RMS error and R-sq value close to 1, which implied that our experiment and design were very reliable. We found that the sheet resistance decreased to $-1.83 \Omega/\square$ with the deposition temperature, increased to $+1.17 \Omega/\square$ with the deposition pressure, and decreased into $-0.65 \Omega/\square$ with the DC power. We also confirmed that the sheet resistance uniformity was mainly influenced by the deposition temperature as it decreased -4.04% at the temperature range of $25^\circ\text{C}\sim 147^\circ\text{C}$. Finally, we report that the optimum condition of Co film using our statistical method of design of experiment is the deposition temperature of 25°C , the deposition pressure of 12 mTorr, and the DC power of 1500 W.

Key words : Co deposition, statistical experiment design, sheet resistance, sheet resistance uniformity