

초정밀 저항용 박막제조에 미치는 스퍼터 공정변수의 영향

박 구범, 조 기선, 이 봉주*, 이 덕출**
 유한대학 전기과*, 인하대학교 전기공학과**

The effect of the sputtering parameters on fabricating the precision thin film

GB Park, KS Cho, BJ Lee*, DC Lee*
 Yuhan college, *Inha University

Abstract - 초정밀 박막저항을 제조하기 위하여, 3원계 51wt%Ni-41wt%Cr-8wt%Si 합금 타겟(Target)을 가지고 DC/RF 마그네트론 스퍼터를 이용하여 박막저항을 제조하였고, 낮은 저항온도계수(TCR)를 가지는 박막을 만들기 위해 스퍼터링 제조공정의 변화에 따른 박막의 미세구조와 전기적인 특성을 조사하였다. 스퍼터링 제조공정 변수로써 스퍼터링 Power를 변화시켰고, 제조된 박막은 공기 중에서 400[°C]까지 열처리하였다. 반응압력을 감소시키기에 따라 TCR값은 감소하였고, 기판온도 및 열처리 온도의 증가에 따라 TCR값도 증가하였다. 또한, 저항온도계수값은 DC와 RF의 변화에 따라 +52, -25(ppm/°C)의 TCR값을 나타냈다. 이와 같은 결과로부터 제조공정을 변화시키기에 따라 면저항 및 저항온도계수의 제어가 가능함을 알 수 있었다.

스퍼터에 의해 증착된 박막의 면저항 측정은 면저항 측정기(4-Point Probe, ChangMin Tech)를 사용하였고, 박막의 두께는 α -step(Dektak³)을 사용하여 측정하였다. 증착된 저항막을 패터닝(patterning)을 하기 위해 스펀코터(WS-400, Laurell)를 이용하여 포토레지스트(AZ1512)을 도포하였고, 노광기(MA-6, Karl-suss)를 이용하여 노광한 후 전용 현상액으로 현상하였다. etching의 경우는 상용화되고 있는 Cr-7K를 이용하여 박막의 두께에 따라 에칭시간의 차이를 두었다. 패터닝한 후의 패터닝형을 관찰하기 위해서는 광학현미경(Optical Stereoscope, Leica Wild M3Z)을 사용하였다. 이와 같은 초정밀급 박막저항의 제조공정의 공정도는 표 1에 나타내었다.

1. 서 론

핵심 전자부품들은 고정밀화, 복합화 그리고 고효율성 및 미세조정 기능에 대한 요구의 증가로 계속적으로 발전되어오고 있다. 이중에서도 저항은 주로 전류의 흐름을 제한하여 회로의 각 소자에 목적인 전류를 공급하거나 또는 전압을 분할하는데 사용되는 대표적인 회로의 기초 부품으로 최근 저항온도계수가 낮은 고정밀 저항에 대한 요구가 대두되고 있다.

NiCr계 합금 박막에 대한 초기의 연구는 주로 증발(evaporation)방법으로 박막을 제작하였으나 이 방법 경우 Ni과 Cr의 증기압 차이 때문에 제조된 박막의 조성 재현성이 어려운 단점이 있으므로, 최근에는 주로 스퍼터(sputter)방법으로 제조된 NiCr계 박막에 대한 연구가 발표되고 있다. 또한, NiCr의 2원계 합금에 Al, C, Si, Mn, Mo 등의 원소를 첨가함으로써 박막의 TCR 및 비저항 특성 등 전기적 특성의 변화를 유도하기 위한 연구^[1-2]가 수행되었으며, 고온에서 열처리에 의한 박막의 특성 변화에 대한 연구^[3-4]가 발표되었다.

따라서 본 연구에서는 고정밀급 박막저항을 제조하기 위하여 Ni, Cr의 합금에 미량의 Si성분을 첨가하여 스퍼터링 증착공정 및 열처리공정에 따른 면저항 및 저항온도계수등의 전기적 특성을 연구하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 실험에서는 안정되고 신속한 박막형성을 위해 3타겟 시스템인 RF/DC 마그네트론 스퍼터장치(A-tech)를 사용하였다. 실험에 사용된 타겟의 경우 51wt% Ni-41wt%Cr-8wt%Si 합금을 이용하였고 기판의 경우는 일반적으로 박막용 알루미늄산화물(Al₂O₃) 기판을 사용하였으며, 박막의 두께, 면저항, 결정상 및 재료성분 특성 등을 분석하기 위해 glass기판과 Si 웨이퍼를 사용하였다. 알루미늄 기판은 70×70(mm) 크기이고, 각 Cell의 절단을 위해 레이저 스크라이빙(laser scribing)을 하여 제조하였다.

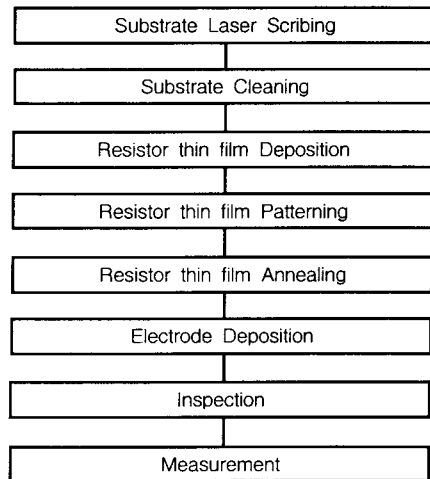


표 1 박막저항 시편 공정도

Table 1. Flow chart of thin film resistor

저항온도계수의 측정조건은 설정온도에서 10분을 유지하여 측정하였으며, 일반적으로 25°C에서의 저항(R₂₅)을 기준으로 하여 85°C에서의 저항(R₈₅)을 측정 한 후 그 값을 아래 식(1)로부터 계산하였다.

$$TCR [ppm/°C] = \frac{1}{R_{25}[\Omega]} \cdot \frac{\Delta R[\Omega]}{\Delta T[°C]} \quad \text{---(1)}$$

여기에서 TCR은 저항온도계수, ΔR은 특정한 온도구간(25°C~85°C)에서의 저항변화량이고, ΔT는 온도구간차이다.

2.2 실험결과

일반적으로 박막저항의 조성으로 이용되고 있는 TaN, NiCr계 조성 중, NiCr의 조성에 비저항의 증가 및 낮은 온도저항계수 특성을 위하여 일반적으로 소량의 불순물을 첨가하고 있다. 그중 가장 많이 사용되는 불순물로는 Si, Mo, Al등을 이용하는데, 이는 소량의 불순

물에 의한 metastable phase 형성이 용이한 결과로 알려지고 있다. 그중 낮은 온도저항계수 측면을 고려하여 본 연구에서는 Negative한 저항온도계수 특성을 가진 Si에 대한 첨가를 고려하여, Ni-Cr-Si에 대한 특성을 보았다. 이때의 3원계 조성합량은 기존의 실험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 하여 Ni/Cr비가 0.8에서 1.5 정도가 되는 것 중 51wt%Ni- 41wt%Cr-8wt%Si의 특정 조성으로 선택하였다.

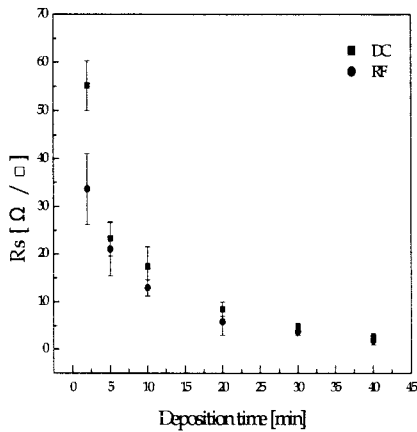


그림 1 증착시간과 Power에 따른 면저항특성
Fig 1 Rs with power and depo.time

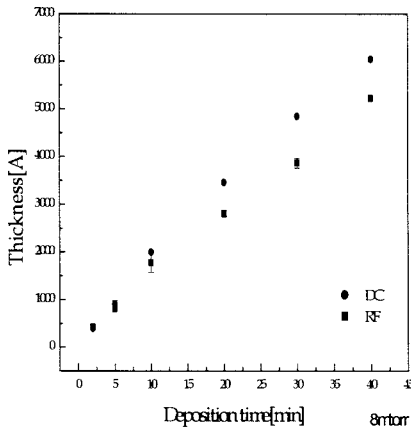


그림 2 증착시간과 Power에 따른 두께특성
Fig 2 Thickness with power and depo. time

그림 1과 2는 3원계 타겟의 공정조건을 위해 Power 변화와 증착시간에 따른 면저항과 두께를 본 결과이다. Power에 따른 특성을 보고자 진공도는 8 [mtorr]로 선정하였는데, 이는 사용된 Multi sputtering M/C에서 플라즈마가 안정하게 발생할 수 있는 가장 낮은 진공도를 본 결과 DC Power의 경우 8 [mtorr]이었고, RF Power의 경우 5 [mtorr]이기 때문에 진공도는 8 [mtorr]로 선정하였다. 그림 1에서의 면저항 특성을 보면 증착시간에 따른 면저항은 두께의 증가로 인한 감소 현상을 볼 수 있으며, 같은 Power의 크기에서 RF Power에 비하여 DC Power의 경우가 면저항이 큰 것을 알 수 있다. 또한, 그림 2에서 볼 수 있듯이 같은 진공도내에서의 두께변화를 본 결과 RF Power에 비하여

DC Power를 이용한 경우, 더 두껍게 증착되고 있음을 알 수 있었고, RF나 DC 모두 전형적인 스퍼터링의 선형성을 볼 수 있었다. 두 그림으로부터 알 수 있는 결론은 DC는 RF에 비하여 증착율이 커서 두꺼운 막의 증착을 이룰 수 있지만, 치밀한 막의 성장이 어려워 면저항 증가된 것으로 생각된다. 이때의 비저항 값을 계산한 결과 두께가 약 1000Å 정도를 기준하면, RF의 경우 비저항은 172 [$\mu \Omega \text{cm}$]이며, DC의 경우 비저항 209 [$\mu \Omega \text{cm}$]의 값을 얻을 수 있었다.

8[mtorr], 30[sccm]의 공정조건에서 Power의 변 따른 결정분석을 위한 XRD분석한 결과, RF Power로 제작된 박막이 DC Power로 제작된 박막에 비하여 피이크의 강도(intensity)가 약간 작으며, 약간 광폭화 현상 볼 수 있으나, 그 정도는 아주 작다. 그러나, 이와 같은 강도의 감소 및 광폭화 현상은 grain의 미세한 구조로 설명된다. 즉 상기의 Power에 따른 면저항 및 두께의 특성과 동일하게 RF Power를 이용하는 경우가 DC Power를 이용하는 경우에 비하여 얇고 치밀한 박막이 제조됨을 알 수 있다.

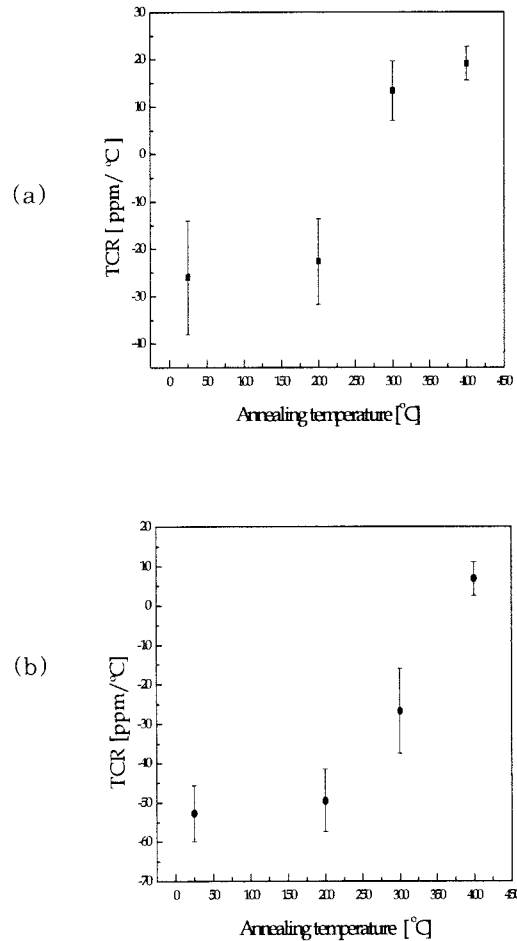


그림 3 Power 및 열처리온도에 따른 저항온도계수
Fig 3 TCR with power and annealing temp.

일반적으로 AFM(atomic force microscope)은 물질 표면 연구에 있어 표면의 입체적인 정보뿐만 아니라, Angstrom 단위까지의 표면의 원자배치를 아주 간단하게 파악할 수 있고 표면의 처리없이 자연상태 그대로 관찰이 가능하다. AFM을 통하여 박막의 미세구조분석을 한 결과를 통하여 볼 때, 250[W], 5[mtorr], 30 [sccm]

증착조건에서 기판온도증가에 따른 증착된 막의 표면조도(roughness)는 $100 [\mu\text{m}] \times 100 [\mu\text{m}]$ 의 크기를 기준일 때, 기판온도가 25°C , 100°C , 200°C , 300°C 로 증가함에 따라, 각각 $4.56[\text{nm}]$, $3.25[\text{nm}]$, $2.54[\text{nm}]$, $2.44[\text{nm}]$ 로 감소됨을 알 수 있었다. 이러한 결과는 기판온도의 증가로 인해 박막의 미세구조는 치밀해 지고 grain의 증가로 인하여 박막표면이 안정화되는 현상으로 생각할 수 있다.

저항온도계수가 낮은 값을 가진 박막저항을 제조하기 위해서는 제조과정중 열처리 공정이 필수적이다. 이는, 온도에 따른 저항값의 변화폭이 작은 특성을 가진 소자의 제조과정시 열 충격을 거친 경우, 온도에 대한 신뢰성 있는 특성이 보존되어 일반적인 박막저항 제조시 필수적으로 이용되고 있다.

그림 3은 공기 중에서 1시간동안 열처리 한 경우, 열처리 온도에 따른 저항온도계수특성 본 것이다. (a)의 경우 DC 250 [W], 8 [mtorr], 30 [sccm]로 증착한 박막이고, (b)의 경우 RF 250 [W], 5 [mtorr], 30 [sccm]로 증착한 박막의 결과이다. 그림에서 보면, 각각의 특성은 Power의 변화에 상관없이 열처리온도가 증가함에 따라 박막의 저항온도계수값은 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 제조된 박막이 열처리 과정을 통하여 열에 의한 산화현상으로 저항온도 계수 값이 증가된 것으로 생각된다.

3. 결 론

초정밀급 박막저항을 제조하고자 주성분인 Ni와 Cr의 조성에 미량의 Si성분을 첨가한 형태인 Ni:Cr:Si=51w:41wt%:8wt%의 조성타겟을 가지고 마그네트론 스퍼링에 의해 제작된 박막은 다음과 같이 정리할 수 있다.

1) Power의 변화에 대한 결과, DC를 이용하는 것이 RF를 이용하는 것 보다 증착률이 크고, 또한 먼저 저항 값이 큰 값을 얻을 수 있었다. 이는 RF를 이용하는 경우 치밀한 박막의 형성으로 인한 증착율의 감소 및 먼저 저항 값의 감소라고 생각되고, 이때의 비저항 값을 계산한 결과 두께가 약 1000 \AA 정도를 기준하면, RF의 경우 비저항은 $172 [\mu\Omega\text{cm}]$ 이며, DC의 경우 비저항 $209 [\mu\Omega\text{cm}]$ 의 값을 얻었다.

2) RF와 DC를 사용한 경우의 초기 저항온도계수값은 각각 $-52 [\text{ppm}/^\circ\text{C}]$ 와 $-25 [\text{ppm}/^\circ\text{C}]$ 값을 얻었다. 이는 거의 결과들과 동일하게 RF Power로 인한 박막의 치밀성의 결과로 인해 얻어진 결과라 말할 수 있다.

이와 같은 결과로부터 초정밀급 박막저항을 제조하기 위한 제조과정중 Power변화에 따라 증착된 막의 미세조직의 치밀화 및 비저항 특성을 조정할 수 있음을 알 수 있으며, 낮은 저항온도계수를 가진 저항박막 소자를 제조할 수 있음을 알았다.

(참 고 문 헌)

- [1] E. Schippel, "Modification test of vacuum dep Ni/Cr films with Mn and Si for thin film resistors", No.8, pp.917, 1980
- [2] M.A. Bayne, "Al-doped Ni-Cr for temperature coe of resistance control in hybrid thin-film resistors", J Sci. Technol., A4(6), pp.3142, 1986
- [3] A. Belu-Marian, "Electrical properties and st defects of Ni-Cr thin films", Thin Solid Films, V No.15, 1986
- [4] M. I. Birjega, "Crystallization of amorphous sp 55%Cr-45%Ni thin films", Thin Solid Films, 92, 315,
- [6] D. M. Buczek, "Thin-film NiCr resistor", J. Vac. Sci.

Technol., Vol.15, No.2, pp.370, 1978

[7] M. Kotai et. al., "Segregation phenomena in thin film NiCr layers", Vacuum, Vol.33(1/2), No.49, 1983

[8] W. Pitschke et. al., "Phase formation process of sputtered NiCr(37:63) thin films", Fresenius J. Anal. Chem., Vol.361, pp.608, 1998