

초고주파용 박막저항의 특성에 미치는 RF 스파터링 조건의 영향

류승록, 구본급, 강병돈*, 류제천*, 김동진*
한밭대학교 재료공학과, (주)케이엠씨 테크놀로지

Effect of RF Sputtering Conditions on Properties of Thin Film Resistor for Microwave Device

Sung-Rok Ryu, Bon-Keup Koo, Beong-Don Kang*, Jei-Chun Ryu*, Dong-Jin Kim*
Hanbat National Univ., KMC Technology*

Abstract

In the electronic components and devices fabrication, thin film resistors with low TCR(temperature coefficient of resistance) and high precision have been used over 3 GHz microwave in recent years. Ni-Cr alloys thin films resistors is one of the most commonly used resistive materials because it has low TCR and highly stable resistance. In this work, we fabricated thin film resistors using Evanohm alloys target(72Ni-20Cr-3Al-4Mn-Si) of s-type with excellent resistors properties by RF-sputtering. Also we reported best deposited conditions of thin film resistors for microwave to observe microstructure and electronic properties of thin film according to deposited conditions(between target and substrate, power supply)

Key Words : Thin film, Microwave, Temperature coefficient of resistance, Resistors
Evanohm alloys target(72Ni-20Cr-3Al-4Mn-Si)

1. 서 론

박막저항에 사용되는 물질에는 순수금속, 합금, cermet(세라믹과 금속의 합금) 그리고 carbon과 같은 반도체 등이 있는데 이들을 저항값에 따라 분류하면 3가지 영역으로 나누어진다. 즉 1 Ω 미만의 낮은 저항, 10 MΩ 이상의 높은 저항, 그리고 그 중간인 중간 저항 영역으로 구분된다. 낮은 저항을 구현하기 위해 사용되는 대표적인 물질은 CuNi에 불순물로 Mn이 포함된 manganin이란 합금을 사용하며, 높은 저항에는 Cr-SiO 합금 등을, 더 높은 저항에는 carbon film을 사용한다. Ni-Cr 합금과 Ta-N 등은 중간 영역의 저항물질인데 그 중 Ni-Cr 합금은 정밀 박막저항을 제작하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 저항 물질 중의 하나이다. Ni-Cr 합금을 저항체에 사용하는 주된 이유는 저항변화에 대한 장기 안정도가 좋고, 저항은도계수가 ± 10 ppm/°C 이하로 작은 값을 얻을 수 있고, 면저항도 10 ~ 300 Ω/sq로서 중간 영역에서 비교

적 높은 저항 값을 얻을 수 있으며, 전기적 특성이 우수하기 때문이다. 저항체로 쓰이는 Ni-Cr합금은 대략 20에서 70 wt%까지의 Cr을 포함하는 조성의 합금을 이용하며[1-4], 제 3의 원소들을 소량 첨가한 합금을 이용하기도 한다.[5-8] 그 대표적인 물질이 Ni, Cr, Al의 합금이다. Ni-Cr 박막은 저항체로서 뿐만 아니라 thermocouples, 다른 박막들의 확산 보호막, 습도센서등으로도 이용되며, Ni-Cr 박막을 산화시키거나, 질화시켜 응용되기도 한다. 일반적으로 질화된 박막은 grain 크기를 감소시켜 박막의 강도를 증가시킨다. 본 연구에서는 evanohm이란 이름이 붙어있는 Ni₇₂Cr₂₀Al₃Mn₄Si 합금 타겟(target)을 선택하였다. evanohm에는 두 가지 type이 있는데 Ni, Cr에 불순물로 Al, Cu가 포함된 합금인 R-type 과 Al, Mg, Si가 포함된 S-type이 있다. Ni-Cr계열 중 evanohm은 매우 우수한 bulk 저항 물질이며 그 중에서도 R-type에 비해 S-type의 비저항이 더 크며 더 낮은 저항은도계수와 열기전력을 가지고 있어 특성이 우수하

다. Bulk evanohm S-type의 비저항은 $133 \mu\Omega\text{-cm}$ 이며, 저항온도계수는 $+5 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, Cu에 대한 열기전력은 $0.3 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ 이하이다. 사용한 evanohm S-type을 간단히 Ni-Cr이라고 하겠다.

본 연구에서는 기판과 타겟과의 거리에 따른 막의 균일도(uniformity)를 알아보기 위해 면저항 측정과 열처리 효과에 의한 Ni-Cr 박막의 zero에 가까운 저항온도계수를 갖는 박막저항의 열처리 조건을 조사해 보았다.

2. 실험

$\text{Ni}_{72}\text{Cr}_{20}\text{Al}_3\text{Mn}_4\text{Si}$ (wt%) 박막을 RF 스퍼터링법으로 제작하였고, 초기의 진공도를 10^{-6}Torr 으로하고 작업 진공도를 5mmTorr 로 하였다. 기판은 가로, 세로 $15\times 15\text{mm}$ 크기의 500nm 의 SiO_2 가 올려진 Si 웨이퍼(100)와 가로, 세로 $70\times 75\text{mm}$ 크기의 알루미늄(Al_2O_3) 기판을 사용하였다. 막의 균일도를 알아보기 위해 기판과 타겟 사이의 거리를 변화 시키면서 증착하여 면저항을 측정하였고 증착 속도를 알아보기 위해 막 두께를 측정하였다. 또 제작된 시편을 25°C 에서 130°C 까지 15분당 5°C 의 간격으로 온도를 올리고 내리면서 저항온도계수를 측정하였다. 시편은 그림 1와 같은 패턴으로 제작하여 반도체 공정인 photo-lithography의 lift off 방식으로 저항과 전극의 패턴을 형성하였다. 먼저 photoresist (PR)작업을 한 후 스퍼터링하였고 다시 PR을 제거한 후, 이 박막 위에 다시 전극을 올리기 위해 전극 패턴 PR 작업을 하였으며 thermal evaporator로 Ti 10nm와 Au 200nm로 전극을 증착하였고 다시 PR을 제거하였다. 전체적인 시편 제조공정은 그림 2와 같다.

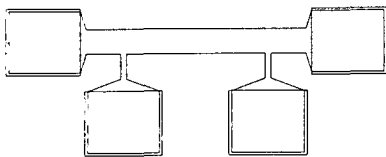


그림 1. 4-terminal 저항과 전극 패턴.

Fig. 1. Pattern of 4-terminal resistance and electrode.

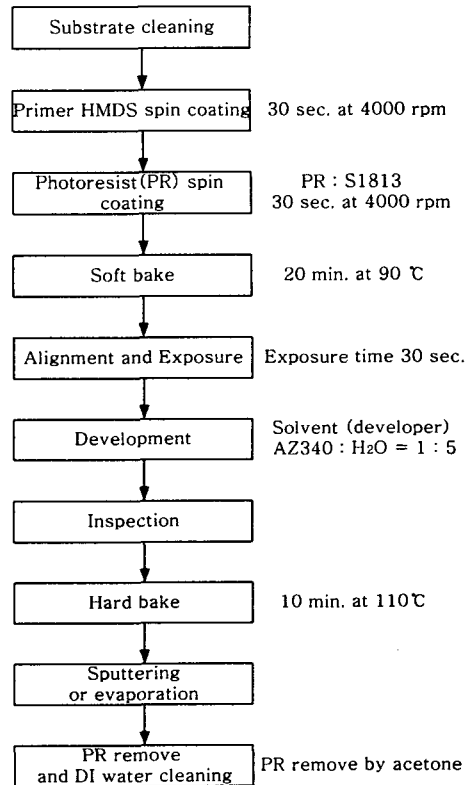


그림 2. 시편 제조공정.

Fig. 2. Process of sample manufacture.

3. 결과 및 고찰

3.1 기판과 타겟 사이의 거리에 따른 면저항

기판과 타겟 사이의 거리에 따른 면저항을 측정하기 위하여 공급전압 : 200 watt, 작업 진공도 : 5 mTor, 시간 : 10 min, 기판 회전 : 20 rpm으로 기판과 타겟사이의 거리를 Base(기판과 타겟사이의 거리가 최소일 때), 20mm, 40mm, 60mm로 변화 시키면서 막을 증착시켜 면저항을 측정하였다. 각 거리에서 면저항을 측정했을 때 각각의 막의 균일도를 알아보기 위해 그림 3과 같이 그래프를 그려 나타내었다. 그림에서와 같이 기판과 타겟 사이가 Base일 때 면저항 값이 균일한 것으로 보아 막의 균일도가 가장 좋다는 사실을 알 수 있었다.

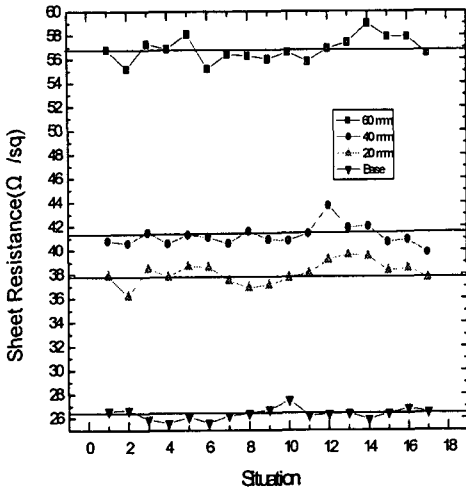


그림 3. 기판과 타겟사이의 거리에 따른 면저항.
Fig. 3. Sheet resistance vs. distance between substrate and target.

3.2 막의 두께 측정

공급전압을 250 watts, 기판과 타겟 사이의 거리를 Base로 놓고 시간에 따른 막 증착 속도를 측정해 보았다. 그림 4에서 보는 바와 같이 막의 증착 속도는 13.3 nm/min임을 알 수 있었다.

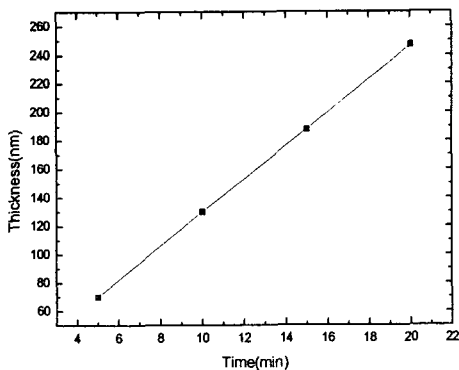


그림 4. Si 기판위에 증착한 Ni-Cr 박막의 시간에 따른 막두께 변화.
Fig. 4. Thickness vs. time for Ni-Cr thin film on Si.

3.3 저항온도계수(TCR)

순수하고 결정화된 금속에 열을 가하면, 그 저항 값은 증가하다가 다시 열을 식히면 금속의 저항 값은 처음 값으로 돌아간다. 이러한 현상을 가역적이라고 한다. 반면에 열을 가하고 식힌 후 처음 값이 나중 저항 값과 다를 경우도 발생하는데 이를 비가역적이라고 한다. 이러한 비가역적 변화는 amorphous 박막이 일부 결정화되거나, 산화가 형성되거나, grain 크기나 dislocation 밀도가 변하거나, cracks들이 형성되거나, 그 외에 다른 이유로 발생할 수 있다. Si 기판에 as-deposited 상태인 Ni-Cr 박막의 저항온도계수 측정 결과를 그림 5에 나타내었다. 25 °C ~ 120 °C 사이의 온도 사이클을 3번 진행시켰는데 온도가 올라갈 때와 내려갈 때의 저항 값은 비가역적으로 측정되었다. 이러한 변화는 as-deposited 박막의 온도가 올라감에 따라 저항의 감소가 생기기 때문인데, 이는 열처리 효과에 의해 박막저항의 원자가 재배열된 것으로 생각된다.[9] 처음 사이클보다 3번째 사이클이 보다 나은 가역성을 보여주는 것으로 보아 as-deposited 박막이 온도 사이클에 대해 가역적이 되기 위해서는 적당한 열처리 과정이 필요함을 알 수 있었다.

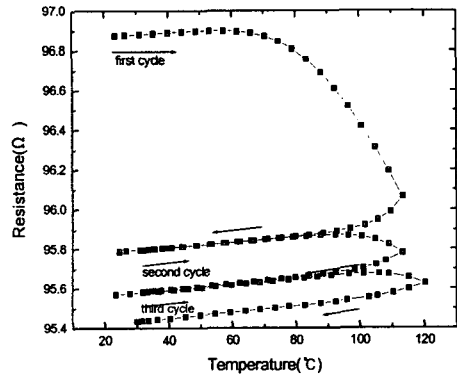


그림 5. 열처리하지 않은 Si 기판의 온도에 따른 저항변화.
Fig. 5. Variation of resistance vs. temperature cycles for as-deposited film on Si.

그림 6, 7, 8은 300 °C, 400 °C, 500 °C에서 열처리한 Ni-Cr 박막의 저항온도계수 측정 데이터이다. 원자 재배열이 끝난 후 온도에 대한 저항 값의 변화는 온도 사이클을 올리고 내렸을 때 선형성을 보임을 알 수 있었다.

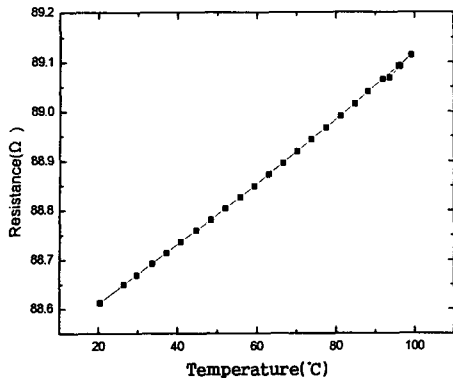


그림 6. 300 °C에서 열처리한 Si 기판의 온도에 따른 저항변화.
 Fig. 6. Variation of resistance vs. temperature cycles for annealed film at 300 °C on Si.

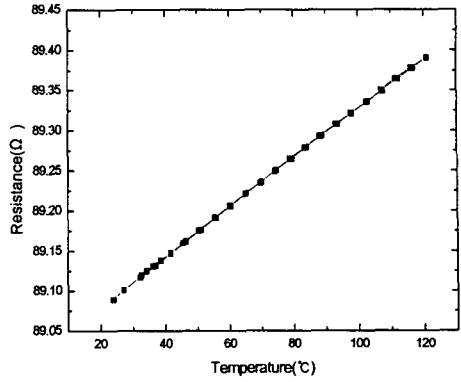


그림 8. 500 °C에서 열처리한 Si 기판의 온도에 따른 저항변화.
 Fig. 8. Variation of resistance vs. temperature cycles for annealed film at 500 °C on Si.

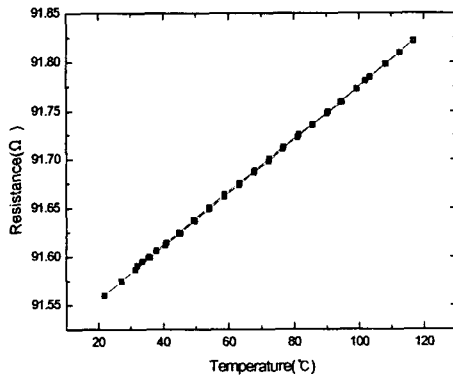


그림 7. 400 °C에서 열처리한 Si 기판의 온도에 따른 저항변화.
 Fig. 7. Variation of resistance vs. temperature cycles for annealed film at 400 °C on Si.

각각의 열처리 온도(300, 400, 500 °C)에서 저항 온도계수를 측정해본 결과 그림 9와 같이 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 열처리를 하지 않았을 때 zero 저항 온도계수에 가장 가까이 접근했으며, 전체적으로 양의 저항 온도계수를 가짐을 알 수 있었다.

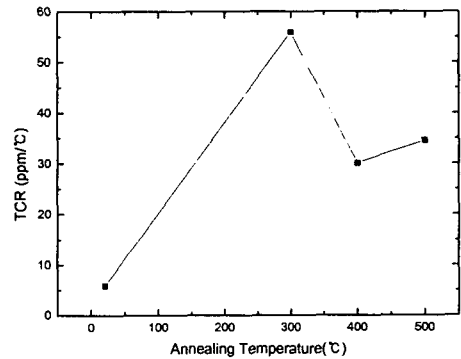


그림 9. Si 기판위에 증착한 Ni-Cr 박막의 열처리 온도에 따른 저항 온도계수.
 Fig. 9. TCR vs. annealing temperature for Ni-Cr thin film on Si.

4. 결 론

본 연구에서는 $Ni_{72}Cr_{20}Al_3Mn_4Si$ 합금 타겟을 사용하여 알루미늄(Al_2O_3)와 실리콘(SiO_2/Si)기판에 RF- sputtering 방법으로 증착하여, 거리에 따른 면저항을 측정하여 막의 균일도를 측정하였으며. 시간에 따른 막의 증착 속도와 열처리 온도에 따른 저항온도계수의 변화를 조사해 보았다.

결론은 아래와 같다.

1. 기판과 타겟 사이의 거리가 Base(기판과 타겟 사이의 거리가 최소)일 때 면저항 값 분포가 가장 일정한 것으로 보아 막의 균일도가 가장 좋을 수 있었다.
2. α -step 500을 이용하여 시간에 따른 막의 증착 속도가 13.3 nm/min임을 알 수 있었다.
3. As-deposited 상태인 Ni-Cr 박막은 저항온도계수가 비가역적으로 측정되었다. 이러한 변화는 as-deposited 박막의 온도가 올라감에 따라 저항의 감소가 생기기 때문인데, 이는 열처리 효과에 의해 박막저항의 원자가 재배열된 것으로 생각된다. 이로 인해 as-deposited 박막이 온도 사이클에 대해 가역적이 되기 위해서는 적당한 열처리 과정이 필요함을 알 수 있었다.
4. 열처리 온도(as-deposited, 300 °C, 400 °C, 500 °C)에 따라 면저항과 저항온도계수 값을 비교해 보았을 때 열처리를 하지 않았을 때의 시편이 zero 저항온도계수에 가장 가까이 접근했으며, 전체적으로 양의 저항온도계수를 가짐을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 중소기업기술혁신개발사업에 대한 위탁연구개발사업 수행에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] D. S. Campell and B. Hendry, Br. J. Appl. Phys. 16, p. 1719 (1965).
- [2] E. Schippel, Exp. Tech. Phys. (Berlin) 24, p. 361 (1976).
- [3] A. Belu-Marian, R. Manaila, G. Korony, C. Constantin, and A. Devenyi, Thin Solid Films 139, p. 15 (1986).
- [4] M. I. Birjega, S. Popa, V. Sandu, M. Alexe, and C. Sarbu, J. Mater. Sci. Lett. 15, p.77 (1996).
- [5] M. Koltai, Thin Solid Films 116, 221 (1984).
- [6] E. Schippel, Thin Solid Films 144, 21 (1986).
- [7] E. Schippel, Thin Solid Films 146, p. 133 (1987).
- [8] H. Dintner, R. Mattheis, and G. Vogler, Thin Solid Films 182, p. 237 (1989).
- [9] W. Bruckner, W. Pitschke, and J. Thomas, "Stress, resistance, and phase transition in NiCr(60 wt%) thin films", J. Appl. Phys., 87, p. 2219 (2000)