

Ni-Cr 박막 저항의 특성에 미치는 열처리 조건의 영향

류승록, 명성재, 구본급, 강병돈*, 류제천*, 김동진*
한밭대학교 재료공학과, (주)케이엠씨테크놀러지

Effect of Annealing Conditions on Properties of Ni-Cr Thin Film Resistor

Sung-Rok Ryu, Sung-Jea Myung, Bon-Keup Koo
Beong-Don Kang*, Jei-Chun Ryu*, Dong-Jin Kim*

Department of Materials and Engineering, Hanbat University, Daejeon 305-719
*Korea Microwave Components, Daejeon 300-130

초록 : 최근에 3 GHz이상의 고주파용 전자부품과 소자의 제조에 낮은 TCR 값과 높은 정밀도를 갖는 박막저항이 사용되고 있다. Ni-Cr 박막저항은 낮은 TCR 값과 저항에 대한 높은 안정성 때문에 저항 물질로 사용되는 가장 일반적인 물질이다. 본 연구에서는 Ni₇₂Cr₂₀Al₃Mn₄Si(wt%) 첨가된 우수한 저항특성을 갖는 s-type의 Evanohm 합금 타겟과 스퍼터링 장비를 이용하여 박막 저항을 제조하였다. 또한 열처리 조건을 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C로 변화시키면서 고주파 박막 저항의 미세구조와 전기적 특성을 관찰하여 최상의 열처리 조건을 알아보았다.

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 annealing conditions of thin film resistors for microwave to observe microstructure and electronic properties of thin film according to annealing conditions(200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C)

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

1. 서론

수동소자(passive element) 부품의 소형화가 이루어지면서 전자회로의 소형화와 소자의 집적화 기술이 크게 발달하고 있다. 이중 박막저

항은 전자회로에서 전류조절 또는 전압분배에 있어서 필수적인 수동소자로 높은 전원손실과 작은 크기, 최상의 동작특성을 충족시켜야 하며, 설계 시 적절한 재료의 선택과, 면적을 감

소시킴을 위한 저항위상을 고려해야 한다. 사용되는 물질에는 순수금속, 합금, cermet(세라믹과 금속의 합금) 그리고 carbon과 같은 반도체 등이 있는데 이들을 저항 값에 따라 분류하면 3가지 영역으로 나뉘어진다. 즉 1 Ω 미만의 낮은 저항, 10 MΩ 이상의 높은 저항, 그리고 그 중간 영역의 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, 저항온도계수가 ± 10 ppm/°C 이하로 작은 값을 얻을 수 있고, 면저항도 10 ~ 300 Ω/sq로서 중간 영역에서 비교적 높은 저항 값을 얻을 수 있으며, 전기적 특성이 우수하기 때문이다. 저항체로 쓰이는 Ni-Cr 합금은 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 합금인 evanohm이다. Evanohm에는 두 가지 type이 있는데 Ni, Cr에 불순물로 Al, Cu가 포함된 합금인 R-type 과 Al, Mn, 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 저항온도계수와 열기전력을 가지고 있어 특성이 우수하다. Bulk evanohm S type의 비저항은 $133 \mu\Omega-cm$ 이며, 저항온도계수는 +5 ppm/°C로 다른 수동소자와 집적화를 위해 저항이 갖추어야 할 조건 (± 50 ppm/°C)을 만족하며, Cu에 대한 열기전력은 $0.3 \mu V/^\circ C$ 이하이다. 박막의 열처리

장기 안정도를 개선할 뿐만 아니라 저항온도계수 값이 일정하도록 개선시킨다.^[9-14]

본 연구에서는 s-type의 evanohm 합금 타겟을 이용하여 열처리 효과에 의한 Ni-Cr 박막의 면저항 특성, 박막 표면의 거칠기, 결정구조 변화를 알아보았고, zero에 가까운 저항온도계수를 갖는 박막저항의 열처리 조건을 조사해 보았다.

2. 실험방법

500 nm의 SiO₂가 올려진 가로, 세로 15×15 mm 크기의 Si 웨이퍼(100) 위에 s-type evanohm 합금 타겟을 이용하여, Ni-Cr 박막을 RF 스퍼터링법으로 제작하였다. 이때 초기 진공도는 10⁻⁶ torr 였으며, 작업 진공도는 5 mTorr 이었다. 시편은 Fig. 1과 같은 패턴으로 photo-lithography의 lift off 방식을 이용하여 저항과 전극 패턴을 형성하였다. 먼저 패턴 전체에 photoresist (PR) 작업을 한 후 Ni-Cr 박막을 스퍼터링을 이용하여 증착하였고, 다시 PR을 제거한 후, 이 박막 위에 다시 전극을 올리기 위해 전극 패턴 PR 작업을 하였으며 thermal evaporator로 Ti 50 nm와 Au 200 nm 두께로 전극을 증착한 후, PR을 제거하였다. Au 전극을 올리기 전 Ti를 올려주는 이유는 기판과 전극사이의 접착력을 좋게 하기 위함이다. 전체적인 시편 제조공정을 Fig. 2에 나타내었다.

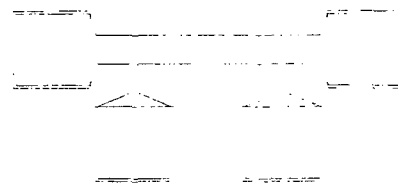


Fig. 1. Pattern of 4-terminal resistance and electroid.

Substrate cleaning	
↓	
Primer HMDS spin coating	30 sec. at 4000rpm
↓	
Photoresist(PR) spin coating	30 sec. at 4000rpm (S1813)
↓	
Soft bake	1 min 30 sec. at 90°C
↓	
Alignment and Exposure	Exposure time 30 sec
↓	
Development	AZ340 : H ₂ O = 1 : 5
↓	
Inspection	
↓	
Hard bake	1 min 30 sec. at 110°C
↓	
Sputtering or evaporation	
↓	
PR remove and cleaning	PR remove by acetone

Fig. 2. Process of sample manufacture.

증착된 박막을 200~500 °C에서 열처리 한 후, 박막의 면저항을 측정하였고, Ni-Cr 박막의 열처리에 따른 결정성을 확인하기 위해 XRD pattern을 분석하였다. 또 박막 표면의 거칠기를 AFM(atomic force microscope)를 사용하여 확인하였다. 한편 제작된 시편을 25 °C에서 135 °C까지 15분당 5 °C의 간격으로 온도를 올리고 내리면서 저항온도계수를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

공급전압을 250 watts, 기판과 타겟 사이의 거리를 100 mm로 놓고 시간에 따른 막 증착 속도를 측정해 보았다. Fig. 3에서 보는 바와

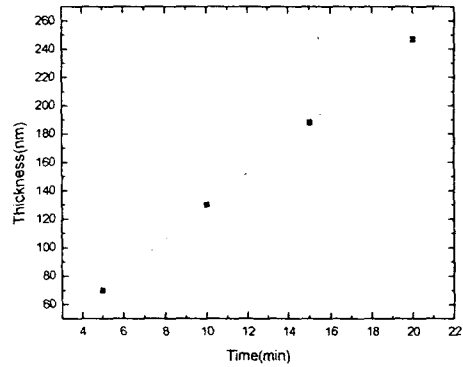


Fig. 3. Thickness vs. time for Ni-Cr thin film on Si.

같이 증착속도는 시간에 따라 직선적으로 증가하였으며, 막의 증착 속도는 13.3 nm/min임을 알 수 있었다.

박막의 두께를 100 nm로 일정하게 증착한 후 열처리 온도를 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C로 변화시키면서 면저항을 측정하였다. 열처리 온도에 따른 면저항 값을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 as-deposited 상태에서 200 °C까지는 면저항이 감소하고, 400 °C까지는 증가하다가 다시 500 °C까지는 감소하는 것을 알 수 있다.

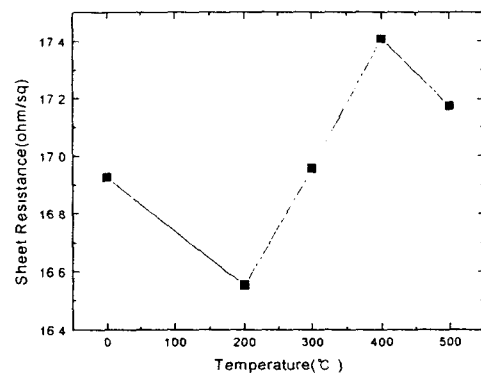


Fig. 4. Sheet resistance vs. annealing temperature for Ni-Cr thin film on Si substrate.

Ni-Cr 박막의 열처리에 따른 결정성을 확인하기 위해 XRD pattern을 분석하여 이를 Fig. 5에 나타내었다. 열처리 온도가 증가하면서 더욱 결정화가 일어나 피크의 모양이 날카로워짐을 알 수 있었다. 주 피크는 Ni(111)와 Cr(110) 피크로 중첩되어서 나타났으며, 500°C 까지 온도 증가에 따른 피크의 분리는 일어나지 않았다.

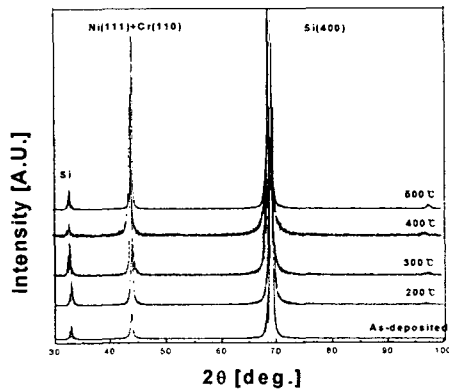


Fig. 5. XRD patterns of various annealing temperatures Ni-Cr thin film.

Ni-Cr 박막의 표면 거칠기를 분석하기 위하여 AFM을 이용하였다. 400 °C 열처리 과정을 거치고 난 이후의 Ni-Cr 박막의 표면과 열처리를 하지 않은 박막의 표면은 Fig. 6과 같은데 400 °C에서 rms roughness가 가장 낮은 9.5 Å 정도로 매우 매끄러운 표면을 유지하고 있다는 것을 알 수 있었다.

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.

Si 기판에 as-deposited 상태인 Ni-Cr 박막의 저항온도계수 측정 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 25 °C ~ 135 °C 사이의 온도 사이클을 2

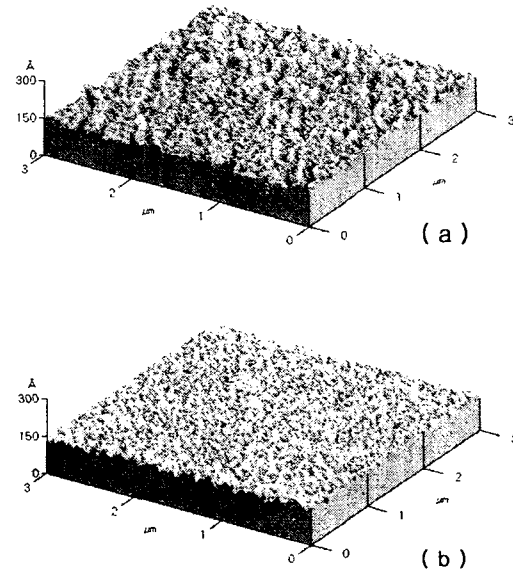


Fig. 6 AFM images of Ni-Cr thin film ; (a) as-deposited (b) 400 °C annealing

번 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.^[15]

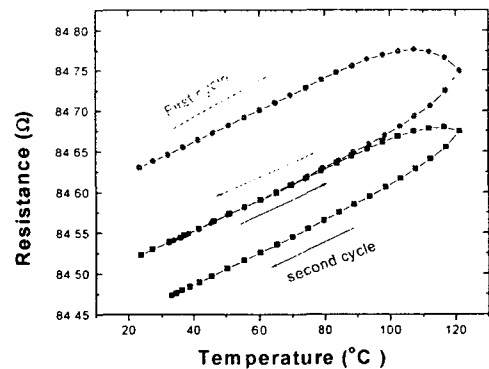


Fig. 7. Variation of resistance vs. temperature cycles for as-deposited film on Si.

처음 사이클보다 2번째 사이클이 보다 나은 가역성을 보여주는 것으로 보아 as-deposited 박막이 온도 사이클에 대해 가역적이 되기 위해서는 적당한 열처리 과정이 필요함을 알 수 있었다

Fig. 8은 200, 300, 400, 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. 200 °C, 300 °C, 500 °C에서 열처리한 박막은 온도가 증가함에 따라 저항 값이 증가했으며, 400 °C에서는 온도가 증가함에 따라 저항 값이 감소하였다.

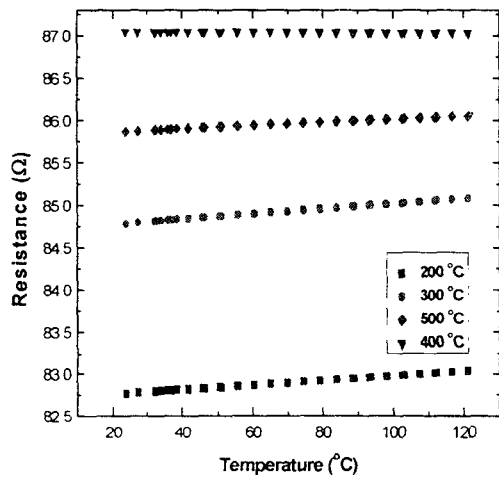


Fig. 8. Variation of resistance vs. temperature cycles for annealed film at 200, 300, 400, 500 °C on Si.

각각의 열처리 온도(200, 300, 400, 500 °C)에서 저항온도계수를 측정해본 결과 Fig. 10과 같이 나타났다. 그림에서 보는 바와 같이 400 °C에서 열처리한 Ni-Cr 박막이 음의 저항온도계수 값을 가지며 zero 저항온도계수에 가장 가까이 접근함을 알 수 있었다. 나머지 열처리 온도에서는 모두 양의 저항온도계수 값을 가졌다.

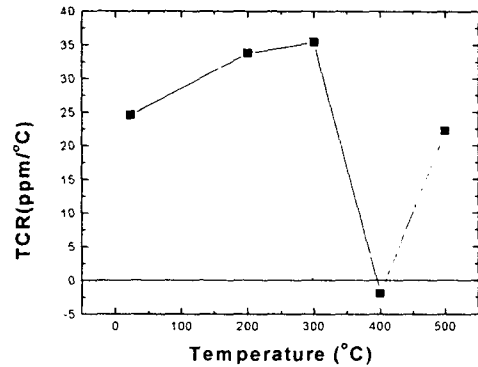


Fig. 9. TCR vs. annealing temperature for Ni-Cr thin film on Si.

4. 결론

본 연구에서는 $Ni_{72}Cr_{20}Al_3Mn_4Si$ (wt%) 합금 타겟을 사용하여 실리콘(SiO_2/Si) 기판에 RF-sputtering 방법으로 증착하여, 시간에 따른 막의 증착속도와 열처리 온도에 따른 면저항, 막의 결정성 여부, rms roughness, 저항온도계수 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. α -step을 이용하여 시간에 따른 막의 증착 속도가 13.3 nm/min임을 알 수 있었다.
2. as-deposited 상태에서 열처리 온도가 증가함에 따라 면저항 값이 감소하였고, 200~400 °C까지는 면저항 값이 증가하였다. 그리고 400~500 °C까지는 면저항 값이 다시 감소하였다.
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. as-deposited 박막이 온도 사이클에 대해 가역적이 되기 위해서는 적당한

열처리 과정이 필요함을 알 수 있었다.

4. 열처리 온도(200, 300, 400, 500 °C)에 따라 저항온도계수 값을 비교해 보았을 때 400 °C로 열처리를 하였을 때의 시편이 zero 저항온도계수에 가장 가까이 접근하였다.

감사의 글

본 연구는 중소기업기술혁신개발사업에 대한 위탁연구개발사업 수행에 의한 것입니다.

참고문헌

- [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] J. H. Mooij and M. de Jong, J. Vac. Sci. Technol. 9, 446 (1972).
- [10] A. Belu-Marian, Thin Solid Films 139, 15 (1986).
- [11] M. I. Birjega, C. A. Constantin, I. T. Florescu and C. Sarbu, Thin Solid Films 92, 315 (1982).
- [12] D. M. Buczek, J. Vac. Sci. Technol. 15, 370 (1978).
- [13] M. Kotai et. al, Vacuum. 33(1/2), 49 (1983).
- [14] W. Pitschke and W. Bruckner, Fresenius J. Anal. Chem. 361, 608 (1998).
- [15] 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)