

NiCr 박막 저항체의 열적 안정성에 관한 연구

\* 김인성, 정순종, 김도한, 송재성  
한국전기연구원 전자기소자그룹

The Study on Thermal Stability of NiCr Thin-films Resistor

\* I.S. Kim, S.J. Jeong, D. H. Kim, J.S. Song  
KERI Electric & Magnetic Devices Research Group

**Abstract** - The NiCr is an important material for present thin-film resistor application owing to its low TCR and thermal stability. In this work, the NiCr thin films were deposited on corning glass substrate by reactive magnetron sputtering and the annealing at temperatures range from 300 to 500 °C for 20 min in vacuum. X-ray, AFM,  $R_s$ (surface leakage current) have been used to study the structural and electrical properties of the NiCr thin films.

The high precision NiCr thin films resistor with TCR(temperature coefficient of resistance) of less than 10 ppm/°C was obtained under in-situ annealing at 300 °C on Cr buffer layer substrate.

It is clear that the NiCr thin-films resistor electrical properties are low TCR related with its annealing and buffer layer condition. NiCr thin film resistor having a good thermal stability and low TCR properties are expected for the application to the dielectric material of passive component.

1. 서 론

저항 소자는 전기·전자·통신 등의 폭넓은 분야에서 인덕터, 커패시터와 함께 사용되는 매우 중요한 수동소자 부품으로써 이동통신과 컴퓨터 등의 전자 산업이 고도화됨에 따라 고기능·고정밀·초소형 부품의 개발이 요구되고 있다. 이러한 고기능, 고정밀 저항체를 개발하기 위해서는 저항체에 사용되는 재료의 특성이 적합해야 하며, 비저항치가 안정하고, 저항온도계수(TCR : temperature coefficient of resistance)가 작아야 한다. 또한 가혹한 사용환경에서도 전기적, 화학적으로 안정해야 하는 것으로 알려져 있다. 이런 요구조건에 부합하고 새로운 저항체의 재료로 각광을 받고 있는 재료는 TaN<sub>x</sub>, Cr-SiO<sub>2</sub>, Cr-MgF<sub>2</sub>, NiCr이 있지만 그중에서도 현재 세계적으로 많은 연구가 이루어지고 있는 재료는 NiCr, TaN 박막저항이다. 하지만 기존의 연구는 저항 박막의 제조 조건과 Ar, N<sub>2</sub> 유량의 변화에 따른 구조나 물성분석에 치중하는 제조 조건에 관련된 연구가 대부분을 차지하고 있다.

본 연구에서는 집적화 전자기소자의 낮은 TCR 특성의 필요성에 따라 적합한 물질로 알려진 NiCr을 박막 저항체로 선정하였으며, 결정화와 열적 안정성에 따른 전기적 특성을 고찰하기 위하여 NiCr 박막의 열처리 온도 조건을 달리하였다. 그리고 기판 위에 낮은 TCR 특성을 유도하는 물질인 Ti과 Cr으로 buffer layer를 형성한 후, NiCr 박막을 제조하여 이들의 표면저항과 TCR을 측정하고 상관관계를 고찰하였다.

2. 실험방법

박막저항 성장시 buffer layer 영향에 따른 NiCr 박막 저항의 특성을 알아보기 위해, Corning glass 기판과 Ti/Corning glass, orning Cr/Corning glass 위에 NiCr을 RF-magnetron sputtering 방법으로 각각 증착시켰다. 또한 결정화와 TCR의 상관관계를 조사하기 위하여 제조된 NiCr 박막을 300, 400, 500 °C의 온도에서 annealing 하였으며, In-situ 300 °C의 NiCr 박막저항을 동시에 제조하여 비교 분석하였다.

Ti과 Cr을 증착시킨 조건은 4 inch Ti, Cr 타겟을 사용하여, 초기진공 5×10<sup>-6</sup> torr, 증착 시 진공도는 5×10<sup>-3</sup> torr, 방전전력은 150W 였다. NiCr 박막 저항을 형성하기 위한 조건은 초기진공도 1×10<sup>-6</sup> torr, 증착 시 진공도는 1×10<sup>-2</sup> torr, 방전전력은 250W 였다. NiCr의 구조 분석과 표면 분석을 위해 X-선 회절장치(X-ray diffractometer, Philips, Netherlands)와 AFM(atomic force microscope, Digital instruments, U.S.A.)을 사용하였고, 저항과 TCR 측정을 위해 High Voltage Source Measurement Unit(Keithely, U.S.A.)와 200 °C까지 가능한 항온 챔버를 이용하였다. 표 1은 실험 조건을 나타낸 것이다.

표 1. NiCr 박막의 제조 조건

Table 1. The deposition conditions of NiCr thin-films

Deposition parameter	Condition
base pressure	1.0×10 <sup>-6</sup> torr
working pressure	5.0×10 <sup>-2</sup> torr
target	NiCr (99.99 %)
RF Power	buffer 150 W, NiCr 250 W
substrate	corning glass
heat treatment	300, 400, 500 °C (20 min)
in-suit annealing	300 °C

3. 결과 및 고찰

NiCr 박막 저항의 제조 조건을 선정하기 위하여 실험 조건을 표 1과 같이 고정하고 corning glass 위에 증착하여 α-step으로 두께를 측정된 결과 1200~1500 Å의 범위를 나타내었으며, 표면 상태는 균질하였다.

결정화 양상을 알아보기 위하여 측정된 XRD 결과는 그림 1과 같다. 열처리를 하지 않은 시편의 경우 Corning glass에 의해 나타나는 회절각(2θ) 25도 부근의 넓은 비정질 패턴을 제외하면, 44도 부근에서 넓은 폭을 지닌 하나의 peak만이 관찰된다. 열처리 온도가 증가함에 따라 이 peak의 강도는 점차 증가하는 경향을 보이며, 500°C에서는 비교적 선명한 결정상에 해당하는 peak가 나타남을 관찰할 수 있다. 여기에서 나

타나는 결정상은 JCPDS card에 제시된 전형적인 (Cr,Ni)의 결정상을 지니고 있고, cubic Pm3n의 공간군과 4.55Å의 격자상수를 지니고 있으며, X-선 실험시 2.290 ~ 1.226 Å 범위에서 6개의 회절 peak를 지니고 있다. JCPDS card의 회절값과 본 실험의 회절값을 비교하여보면, 본 시편의 박막이 강한 (210) 우선방위를 지니고 있음을 알 수 있다.

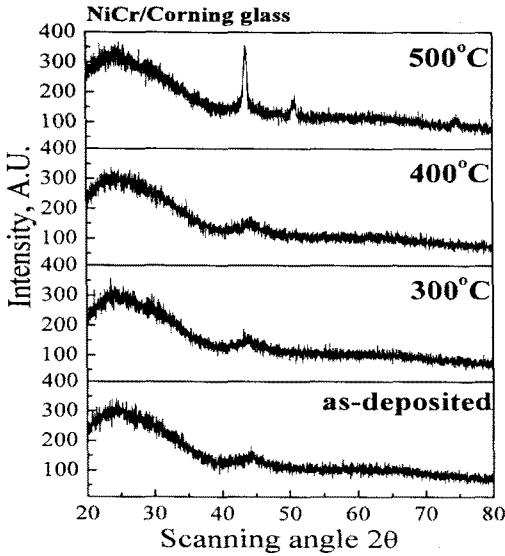


그림 1. NiCr 박막의 XRD 회절패턴  
Fig. 1. The XRD patterns of NiCr thin films

표 2 은 pattern 해석에 의해 얻어진 회절 peak의  $2\theta$  값과 반가폭(full width of half maximum) 값을 보여주고 있다. 여기서 전반적으로 이 박막결정의 주 결정방위인 (210)면의 회절이 나타나는 각도가 열처리 온도에 따라 감소하는 것을 볼 수 있고, 이로부터 비정질에 가까운 상태로 된 박막이 열처리에 따라 결정화하면서 격자상수가 감소하는 것을 알 수 있다. 반가폭의 변화를 보면 400°C까지 거의 변화가 없던 반가폭이 500°C에서 결정화가 급속히 진행됨에 따라 크게 감소함을 볼 수 있고, 이 때의 결정립의 크기를 Scherrer식에 의해 계산해 보면 약 150Å 부근으로 나타난다. 한편 표 1에서 반가폭이 scanning 각도의 증가에 따라 증가하는 경향을 볼 수 있다. 반가폭은 scanning 각도의 증가에 따라 결정립의 크기에는 영향을 받지않고, 불균일 변형의 크기에 강한 영향을 받는다. 결정 내에서 불균일 변형의 크기가 증가하면 높은 회절각도로 갈수록 peak의 broadening이 증가하게 되고, 이로부터 불균일 변형의 크기를 계산할 수 있다. 본 실험의 경우 측정 가능한 peak의 수가 3개에 불과하고, peak의 형상이 좋지 않아 불균일 변형의 크기를 측정할 수는 없으나, 정성적으로 강한 불균일 변형이 존재한다는 것은 충분히 확인할 수는 있다.

표 2. 회절 피크의 각도와 반가폭  
Table 2. Angle and FWHM of diffraction peak

구분	조건	열처리 없음	300°C		400°C		500°C	
			1	2	1	2	1	2
회절각도		44.39	43.94	44.16	43.60	50.79	74.67	
반가폭 (FWHM), Å		2.787	3.040	2.892	0.5481	0.590	0.827	

그림 2 (a), (b), (c), (d)는 NiCr 박막의 AFM 표면 형상으로써 거칠기가 (b) 300 °C, (c) 400 °C, (d) 500°C, (a) as-deposited 순으로 증가되어 표면 조도가 떨어지는 것으로 확인할 수 있었고 전체적으로 침상구조에서 annealing 온도가 높을수록 원형 구조로 성장하였다. 열처리에 의한 박막 조직의 치밀도는 박막의 표면 특성상 누설전류와 표면 저항과 밀접한 관계가 있는 것으로 잘 알려져 있다. 측정 결과 박막의 표면 제곱평균 거칠기(root mean square)는 (a)는 3.402 nm, (b) 6.962 nm, (c) 72.925 nm (d) 3.739 nm 였다.

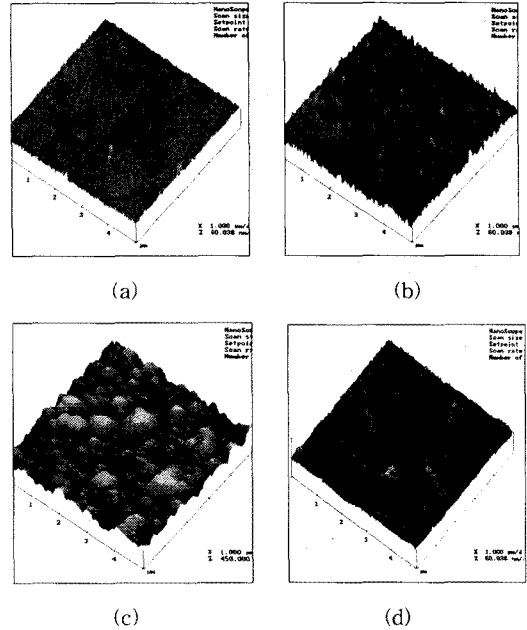


그림 2. NiCr 박막의 AFM 3차원 형상  
Fig. 2. AFM image of NiCr thin films  
(a) 300 °C, (b) 400 °C, (c) 500 °C, (d) as-Depo.

그림 3은 300°C, 400°C, 500°C에서 열처리한 NiCr/glass 박막의 온도 변화에 따른 저항과 상온에서의 온도 저항의 비를 나타낸 것이다. 온도가 증가함에 따라 각 시편들은 저항비가 증가함을 볼 수 있으나 300°C에서 열처리한 시편은 170°C에서 급격하게 저항비가 증가함을 알 수 있으나, 반면, 500°C에서 열처리한 시편은 대체로 안정함을 알 수 있다.

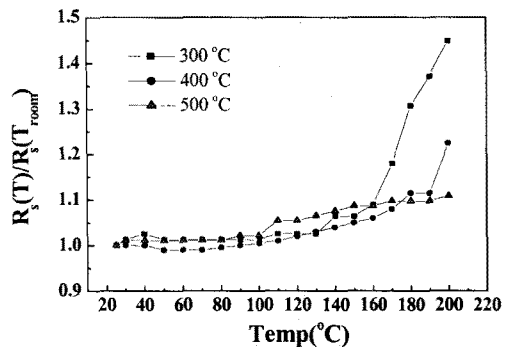


그림 3. 열처리 온도에 따른 NiCr 박막의 저항비  
Fig 3. The properties of NiCr thin films resistivities with annealing temperature.

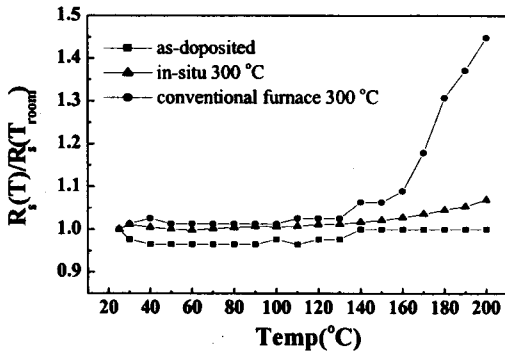


그림 4. 열처리 방법에 따른 NiCr 박막의 저항 비  
Fig 4. The properties of resistance proportion on NiCr thin films with annealing methods.

그림 4는 NiCr 박막의 열처리 방법에 따른 저항 비를 나타낸 것이다. 열처리하지 않은 박막과 in-situ 방법으로 열처리한 박막은 온도 변화에 저항 변화가 없었다. 열처리하지 않은 박막은 온도가 증가함에 따라 상온에서의 저항값 보다 감소하였으며, 140°C 이후에는 상온의 저항값과 비슷한 값을 나타냈고, in-situ 방법으로 열처리한 박막은 140°C부터 서서히 증가하는 것을 알 수 있었다.

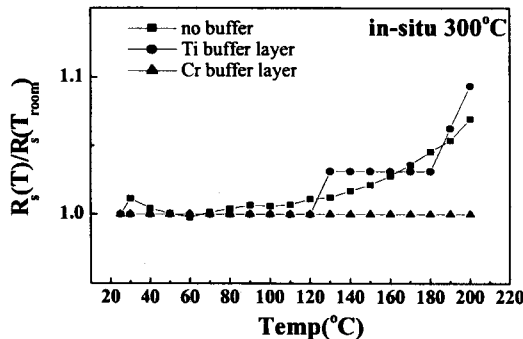


그림 5. 버퍼에 따른 NiCr 박막의 저항 비  
Fig 5. The properties of resistance proportion on NiCr thin films with buffer layer

그림 5은 buffer layer에 따른 NiCr 박막의 저항 변화를 나타낸 것이다. buffer layer이 없는 박막과 Ti buffer layer이 있는 박막은 온도가 증가함에 따라 저항값이 증가함을 보였고, Cr buffer layer가 있는 박막은 온도 변화에 거의 영향없이 일정한 값을 유지하는 것을 알 수 있었다. 그림 6는 125°C에서의 NiCr 박막의 TCR을 나타낸 그림이다. TCR 계산식은 식(1) 다음과 같다.

$$TCR = \frac{(R_2 - R_1)}{R_1(T_2 - T_1)} \times 10^6 \text{ ppm}/^\circ\text{C} \quad (1)$$

$R_1$  = initial resistance ( $\Omega$ )  
 $R_2$  = final resistance ( $\Omega$ )  
 $T_1$  = initial temperature ( $^\circ\text{C}$ )  
 $T_2$  = final temperature ( $^\circ\text{C}$ )

TCR을 비교해 결과, glass 위에 Cr 버퍼층을 형성한 다음, NiCr 박막을 형성시킨 박막이 우수한 TCR 특성

을 나타내는 것을 알 수 있었다.

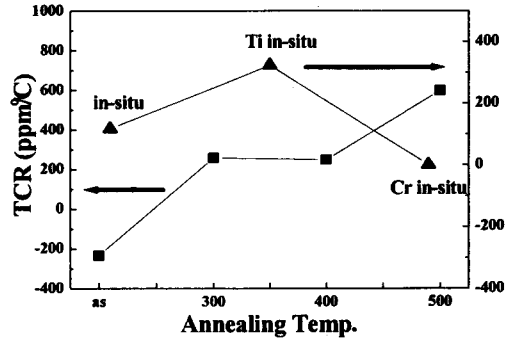


그림 6. 열처리 방법에 따른 NiCr 박막의 125°C에서의 온도 저항 계수(TCR)  
Fig 6. The TCR of NiCr thin films at 125°C with annealing methods.

#### 4. 결론

본 연구에서는 NiCr의 박막 저항체를 annealing 온도를 달리하고 buffer layer를 Ti, Cr 으로 사용하여 표면저항과 TCR을 측정하고 상관 관계를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. annealing 온도 500°C에서는 비교적 선명한 결정상에 해당하는 peak가 나타남을 관찰할 수 있었다.
2. annealing 온도가 증가할수록 거칠기가 증가하고 표면조도는 떨어졌다.
3. 결정화된(500 °C) NiCr 박막은 비교적 안정한 저항 특성을 나타내었다.
4. Cr buffer layer 사용할 때 NiCr 박막 저항은 온도 변화에 영향없이 일정한 값을 유지하였다.
5. Cr buffer layer 위에 형성된 NiCr 박막 저항은 우수한 TCR 특성을 나타내었다.

#### (참 고 문 헌)

- [1]. David S. Peloff, Frederick E. Wahl, and James Conragan, "Four - Point Sheet Resistance Measurements Of Semiconductor Doping Uniformity", J.Electrochem. Soc., Vol 124, No 4, P582, 1977
- [2]. Bruckner W, Baunack S, "Electrical resistance and mechanical stress in NiCr/Cu/NiCr thin films", Journal of Applied Physics, Vol 85, No 2, P935-940,1999
- [3]. Belic Li, Pozun K, Remskar M, "AES, AFM and TEMstudies of NiCr thin films for capacitive humidity sensors", Thin Solid Films, Vol.317, No.1-2, P173-177,1998
- [4]. Lesage J, Staia MH, Chicot D, Godoy C, De Miranda PEV, "Effect of thermal treatments on adhesive properties of a NiCr thermal sprayed coating",Thin Solid Films, Vol.377-378, P681-686,2000
- [5]. W. Bruckner, A. Heinrich, H. Schreiber, H. Vinzelberg, "Degradation of CrSi(W)-O resistive films", Thin Solid Films, Vol.214, P24-91,1992
- [6]. R. Brown and M.N. Alias, "Effect of composition and thickness on corrosion behavior of TiN and ZrN thin films", Surface and Coatings Technology, Vol.62, P467-473,1993
- [7]. Y. Tanaka, T.Ikeda, M.Kelly, "Structure and properties of (Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>)N films prepared by reactive sputtering", Thin Solid Films, Vol 240, pp238-241, 1991