

NiCr 박막저항의 제작 및 특성연구

류제천, *김동진, **박종완, 김용일, 김규태, 송양섭, 유광민
 한국표준과학연구원, * : 부산대학교 물리학과, ** : 충북대학교 물리학과

The fabrication and study of NiCr thin film resistor

Je Cheon Ryu, *Dong Jin Kim, **Jong Wan Park, Yong Il Kim, Kyu-Tae Kim, Yang Sup Song, Kwang Min Yu
 Korea Res. Inst. of Sci. and Stand., * & ** : Physics Dept. of Pusan & Chungbuk Nati. Univ.

Abstract - We were fabricated of NiCr thin film resistors(TFR) on Al₂O₃ substrates by dc magnetic sputtering system. The characteristics of electrical resistance by substrates & annealing condition on the resistors were studied by X-ray Diff. and SEM.

그래서 roughness가 작은 기판일수록 작은 면저항 값을 나타내는 경향은 서로가 bulk의 경향을 나타낼 때까지는 계속될 것으로 생각된다.

1. 서 론

세계의 저항시장은 전자부품의 집적화, 사용 주파수의 고주파화에 따라 급속도로 기존의 후막에서 박막으로 전환되고 있는 상태이다. 이에 따라 안정적이고 고성능인 박막저항의 제작은 전기재료의 중요한 한 부분이 되었다. 본 연구에서는 현재 안정적인 박막저항 물질로 널리 사용되는 NiCr을 타겟으로 하는 박막저항을 제작하였다. 먼저 dc magnetron sputtering법을 사용하여 여러 기판 위에 NiCr 박막을 증착시켜 그 전기적 특성을 조사하였다. 구체적으로는 알루미늄 A(99.5%), 알루미늄 B(96%), SiO₂, Corning Glass 7059등의 기판에 1000Å 정도 두께의 박막을 증착시키고, 각각의 기판에 따른 저항값의 차이를 측정하였다. 그리고 주 기판인 Alumina A에 증착시킨 시료를 사용하여 as-상태에서 600°C 까지 열처리를 하여 열처리 온도에 따른 전기적 특성을 X-ray, SEM등을 사용하여 조사, 이해하였다.

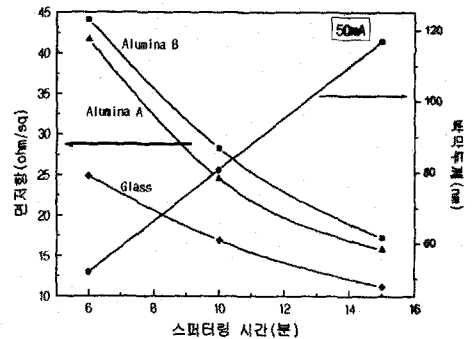


그림 1 기판에 따른 면저항 값의 변화

2. 본 론

2.1 제작

박막저항은 Ni-Cr 합금으로 만들어진 2" 타겟을 사용하여 DC 마그네트론 스퍼터링을 사용하여 제작하였다. 기판으로는 알루미늄(AI₂O₃)를 주 기판으로 사용하였으며, 면저항 측정은 four-point probe^[1]를 사용하여 측정하였다. 상온에서는 Napson 사의 RT-8A를 사용하였으며, 저항온도계수(TCR)는 Siganton사의 station 을 사용하여 20~120 °C의 범위에서 측정하였다.

2.2 측정결과

2.2.1 기판에 따른 면저항

박막저항의 제작시 저항값에 기여하는 요소들은 여러 가지가 있다. 그중 가장 먼저 고려해야 할 것이 사용하는 기판이다. 그래서 먼저 2종의 알루미늄(96%, 99.5%)와 유리(Corning 7059)를 기판으로 하여 동일한 환경에서 제작한 박막저항의 면저항을 측정하여 기판에 따른 저항값의 변화를 측정하였다. 그 결과는 그림 1과 같다. 그림 1을 보면 50 mA의 전류로 10분간 증착후 800 Å 정도의 박막두께에서 알루미늄 B(96%)는 28 Ω/□, 알루미늄 A(99.6%)는 24 Ω/□에 비해 Corning Glass는 17 Ω/□로 현저하게 작은 값을 나타낸다. 이러한 결과는 박막저항의 면저항 값이 기판의 roughness에 크게 좌우되는 것으로 이해할 수 있다.

2.2.2 열처리 온도에 따른 특성측정

박막저항의 열처리는 여러 가지 측면에서 필수적이라 할 수 있다. 일반적으로 as 상태의 박막은 비정질 상태로 준 안정적이기에 열처리를 하여 안정적인 상태의 박막으로 만든다. 많은 경우 열처리 상태가 박막의 성질을 결정하는 아주 중요한 요소가 된다. 본 연구에서는 as 상태의 박막을 200 °C, 300 °C, 400 °C, 500 °C, 600 °C로 나누어 열처리를 하였다. 열처리 동안에 열처리로 내부를 로터리 펌프를 사용하여 3×10⁻³ torr 진공상태로 계속 유지하였다. 그리고 열처리가 끝난 박막저항 시료들의 구조적 특성을 조사하고 이에 근거하여 전기적 특성을 측정, 이해하였다.

1) 표면 구조 및 물성 측정

앞의 실험결과들을 이해하기 위하여 X-ray 회절과 SEM을 사용하여 미세구조를 관찰하였다.

① X-ray 회절

제작한 박막저항의 상변화를 확인하기 위하여 X-ray 회절 실험을 하였다. 그 결과는 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 전체적으로 강한 피크는 알루미늄 기판의 특성곡선이다. 박막의 두께는 1000 Å 정도로 기판에 비해 아주 얇기 때문에 전체적으로 기판의 피크가 강하게 나타난다. 그림 2를 보면, (a)as 상태에서부터 300 °C까지는 알루미늄의 피크만이 강하게 나타나며, Ni-Cr 피크는 전혀 나타나지 않다가 (d)400 °C에서 약간의 경향이 보인다. (e)500 °C에서는 뚜렷한 peak이 나타났으며, (f)600 °C에서는 날카로운 peak이 형성되었다. 이러한 경향으로 보아 NiCr은 400 °C

이전까지는 비정질구조를 나타내다가 그 이후부터 다결정 구조를 나타내는 것으로 생각된다.

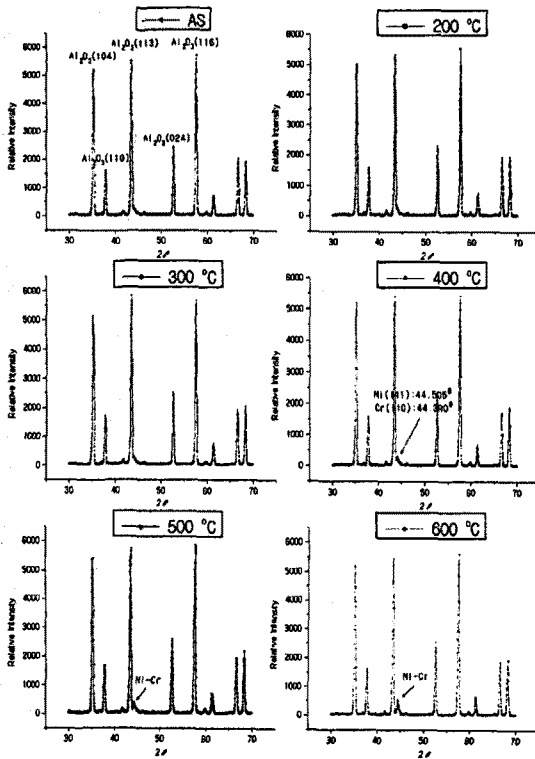


그림 2 열처리 온도에 따른 X-선 측정 결과

② SEM

박막저항의 특성은 표면구조를 관찰함으로써 잘 이해할 수가 있다. SEM을 이용하여 열처리 온도에 따른 시료의 표면사진을 $\times 10,000$, $\times 20,000$ 배로 확대하여 관찰하였다. 그 결과는 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 (a)는 as 상태, (b)는 200 °C, (c)는 400 °C, (d)는 600 °C에서 각각 열처리 한 것이다. as 상태는 기판의 특성에 의하여 grain들이 성글게 분포하고 있으며, grain들의 경계선이 명확하게 보이는 것으로 보아 grain들이 서로 분리되어 존재하는 것으로 생각된다. 그리고 열처리를 함에 따라 200 °C에서는 grain들의 크기가 약간 증가하고 있다. 400 °C에서는 grain들의 가장자리 부분들이 각진형태에서 부드러운 곡선형태로 바뀌어 가다, grain들이 서로 결합하여 성장하는 형태가 600 °C에서 명확하게 나타난다. 또한 600 °C 열처리 시 사진 곳곳에 검은 점이 나타난다. 이를 해석하기 위해 EDAX를 이용하여 성분분석을 하였고, 그 결과는 그림 4와 같다. 그림 4의 (a)는 박막저항 전체를 scanning하였고, (b) 검은 점 부근만을 scanning 하며 성분분석을 한 것이다. 그림 4의 (a)에서는 NiCr 성분들이 모두 나타나고 있으나, (b)에서는 NiCr 성분이 현저하게 감소한 것을 알 수 있다. 이것으로 볼 때 검은 점들은, 고온(600°C) 열처리에 의하여 기판에 전체적으로 분포되어 있던 NiCr의 grain들이 서로 결합하여 전체적인 표면적이 감소하므로써 생긴 기공 (porosity)로 생각할 수 있다. 열처리 온도가 증가할수록 이 기공 (porosity)은 커지게 될 것이다.

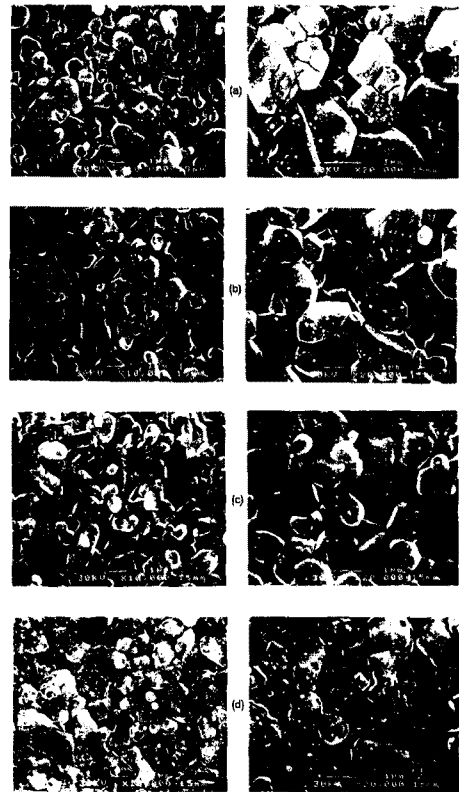


그림 3 열처리 온도에 따른 표면구조

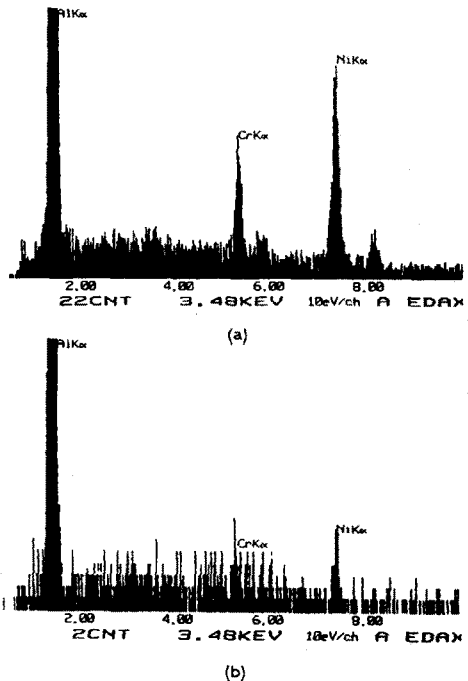


그림 4 600°C에서 열처리한 시편의 EDAX 결과

2) 전기적 특성 측정

① 면저항 (Sheet Resistance: R□)

as 상태의 박막저항 2개의 시료를 열처리 후 면저항을 측정하였다. 그 결과는 그림 5와 같다. 결과에서는 as 상태에서부터 300 °C 까지의 면저항은 조금씩 감소하다가 400 °C 부터는 600 °C 까지 계속하여 증가하고 있다. 이는 다음과 같이 이해할 수 있다. 박막저항에서 열처리시 저항값을 변화시키는 중요한 요인은 grain들의 크기와 산화층의 두께이다. 이것으로 그림 5를 설명하면, as 상태에서 열처리 온도 증가함에 따라 박막저항의 구조가 비정질에서 결정화됨과 함께 grain들의 크기가 증가한다. 이에 따라 저항값은 점차적으로 감소하게 된다. 이것이 as 상태에서 300 °C까지의 열처리시 저항값이 감소하는 이유가 될 것이다. 그리고 400 °C 이상에 면저항이 급격하게 증가하는 것은, grain의 성장에 의한 저항의 감소보다는 열처리를 함에 따라 표면에 형성되는 산화층의 두꺼워짐에 따라 저항이 증가하는 영향이 더욱 큰 효과를 나타내므로써 전체적인 저항값이 증가하는 것으로 생각된다.

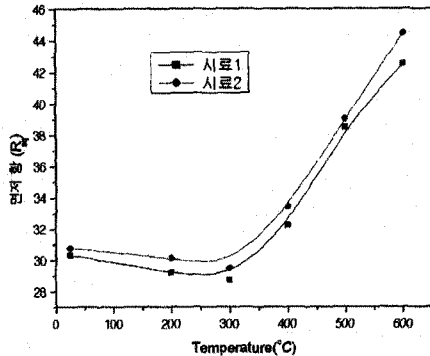


그림 5 열처리 온도에 따른 면저항값의 변화

② 저항온도계수 (TCR)

TCR은 저항의 안정도를 결정하는 중요한 요소중 하나이다. 그래서 as 상태의 박막저항 시료를 열처리를 하여 온도에 따른 면저항을 측정하여 저항온도계수(TCR)를 결정하였고, 그 결과는 그림 6과 같다. as 상태에서부터 300 °C 까지의 TCR은 80 ppm에서 70 ppm으로 조금씩 감소하나 큰 변화가 나타나지 않다가, 400 °C 때 55 ppm 까지 감소한다. 그리고 500 °C에 다시 70 ppm으로 증가하였다가, 600 °C에는 440 ppm으로 급격하게 증가한다. 이는 간단히 결정구조 상태로 이해할 수 있다. 즉 비정질 상태인 400 °C까지는 식(1)과 같이 TCR이 grain들의 크기에 의존하게 된다⁽²⁾. 식 (1)에서

$$TCR = -\frac{1}{\sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dT} = \frac{-e^2}{rkT^2} \quad (1)$$

r은 grain들의 직경이다. 식 (1)로부터 열처리 온도가 증가하면 grain들의 크기도 같이 증가하며, 따라서 TCR은 감소하게 될 것이다. 그러나 열처리 온도가 더욱 증가 (>400 °C)하여 박막저항의 구조가 결정화됨에 따라 전하이송은 금속전도이론⁽³⁾에 따르게 된다. 즉 금속 전도이론에 의해 온도가 증가함에 따라 TCR은 측정결과와 같이 증가하게 되는 것으로 생각된다.

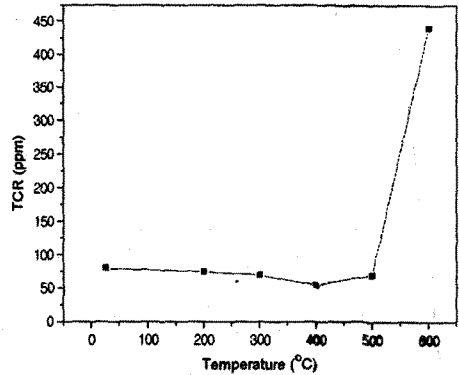


그림 6 열처리 온도에 따른 TCR의 변화

3. 결 론

유리와 알루미늄(Al₂O₃) 기판위에 dc magnetron sputtering 법을 사용하여 제작한 NiCr 박막저항의 여러 전기적, 물리적 특성을 조사하였다. 그 결과 기판의 roughness 값이 클수록 면저항도 크게 나타났으며, 열처리에 따라 면저항이 감소하다 400 °C에서 부터 증가하는 현상이 나타났다. 저항온도계수(TCR)는 열처리시 400 °C 근처에서 +55 ppm으로 가장 작게 나타났다. 본 연구에서 제작한 박막저항은 전기재료에서도 가장 많이 사용되는 소자의 하나로 더욱 안정적인 저항소자로서 박막표준저항을 제작하기까지 앞으로도 지속적인 연구가 진행될 것이다.

[참고 문헌]

- (1) David S. Peloff, Frederick E. Wahl, and James Conragn, "Four - Point Sheet Resistance Measurements Of Semiconductor Doping Uniformity", J. Electrochem. Soc., Vol 124, No.4, P582, April 1977
- (2) L. Maissel, R. Glang, Handbook of thin film technology
- (3) C. Kittel, Introduction to Solid State Physics, 5th Edition (John Wiley & Sons, Inc.), ch6, 1976