

NiCr 박막저항의 전기적 특성 연구

The study on electrical properties of the NiCr thin film resistor

류제천, 김동진, 김용일, 강전홍, 김한준, 유광민
(J.C.Ryu^{*}, D.J.Kim, Y.I.Kim, J.H.Kang, H.J.Kim, K.M.Yu)

Abstract

We were fabricated of NiCr thin film resistors(TFR) on Al₂O₃(99.5%) substrates by dc magnetic sputtering system. The characteristics of electrical resistance (Sheet resistance & Temperature-Coefficient of the resistance-value:TCR) by annealing condition and reactive gas on the resistors were studied.

Key Words(중요용어) : Sputtering, NiCr, 박막저항, TCR, 저항온도계수

1. 서론

현재 수동소자로서 저항은 전자부품의 집적화 및 이동통신의 급격한 발달과 함께 사용 주파수가 고주파 영역으로 계속적으로 확장되므로써 박막저항의 규모는 급속도로 커지며, 능동소자로서의 연구도 활발히 진행되고 있는 상태이다. 이에 따라 안정적이고 고성능인 박막저항의 제작은 전기재료의 중요한 한 부분이 되었다. 본 연구는 이전의 연구내용¹⁾을 계속 이어서, 박막저항 물질로 널리 사용되는 NiCr을 타겟으로 dc magnetron sputtering 법을 사용하여 알루미늄 기판(99.5%)위에 박막저항을 제작하였다. 이때 제작환경은 진공 및 반응성 가스를 흘리면서 각각 제작하여 그 전기적 특성을 조사하였다. 그리고 증착시킨 시료를 as-sputtered 상태에서 600℃ 까지 열처리를 하여 as-sputtered 상태 및 열처리 온도에 따른 구조적, 전기적 특성을 조사하였다.

2. 제작

박막저항은 Ni-Cr 합금으로 만들어진 2" 타겟을

dc magnetron sputtering에 부착하여 99.5 % 알루미늄 기판에 1000 A 정도 두께의 박막을 제작하였다. 이때 기본진공은 1×10^{-7} torr 였으며, 또한 제작시에 열처리 및 반응성 가스를 흘리거나, 제작후 열처리를 하여 박막저항의 구조적 특성 및 저항온도계수를 변화시켰다. 이때 열처리는 Thermolyne사의 21100 furnace를 사용하여 600 ℃ 까지 하였다.

3. 측정 및 결과

3.1 면저항

면저항은 박막저항의 가장 기본적인 특성이라 할 것이다. 본 연구에서 면저항은 Napson 사(日)의 RT-8A를 사용하여 four-point probe 방법²⁾으로 측정하였다. 이전 결과¹⁾에 이어 as-sputtered 상태의 시편을 진공열처리와 반응성가스 내에서 열처리한 후의 면저항 측정결과를 아래 그림 1 에 나타내었다. 그림 1 에서 진공 열처리시 300 ℃ 까지는 면저항이 감소하다가 이후 급격하게 증가하는 현상을 보이고 있으나, 가스 열처리시 400℃ 까지는 진공 열처리와 동일한 경향을 나타내나, 500 ℃에서 면저항이 10% 정도 급격히 증가하였다가 600℃에서 진공 열처리시와 동일한 면저항 값을 나타내었다.

또한 시편을 제작하면서 챔버내에 반응성 가스를 흘리면서 제작한 as-sputtered 상태 시편의 면저항

1) 한국표준과학연구원 전기실
(대전시 유성구 도룡동 1번지 한국표준과학연구원,
Fax:042-868-5018
E-mail:jcryu.kriss.re.kr)

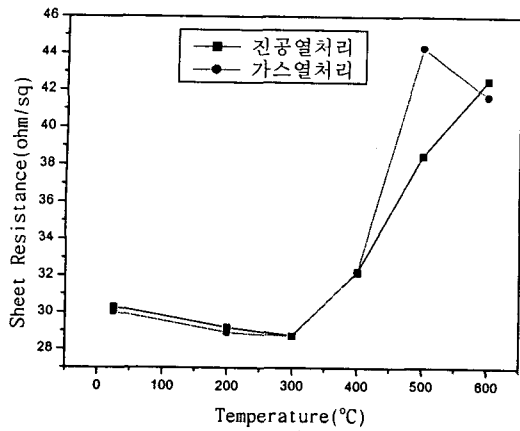


그림 1. 열처리 온도에 따른 면저항 값의 변화



(a) 진공중에서 열처리

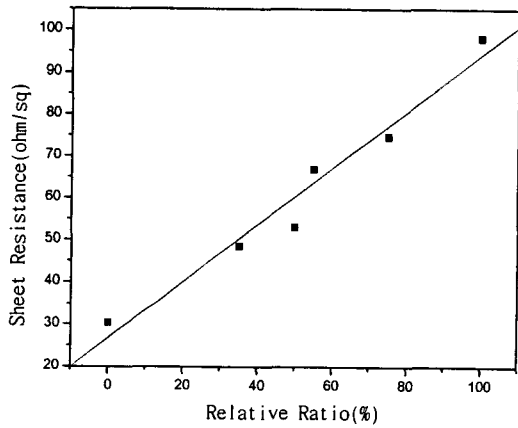


그림 2. 반응성 가스의 상대적 비에 대한 면저항 값의 변화

측정결과는 그림 2 와 같다. 그림 2에서는 가스의 양이 상대적으로 증가함에 따라 면저항은 비례적으로 계속 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 동일한 두께의 박막에서 가스의 양을 조절하므로써 우리가 원하는 저항 값을 어느 정도는 구현할수 있다는 것을 의미한다.

3.2 SEM

박막의 전기적 특성들은 박막의 구조와 밀접한 상호관련성을 가지고 있다. 그래서 박막의 저항특성을 이해하기 위해 이전과¹⁾ 동일하게 박막표면의 구조적 특성을 SEM으로 분석하였다. 그림3 은 진공중 600°C에서 1시간 동안 열처리를 한 시료이며, 그림 4



(b) 반응성 가스 내에서 열처리

그림 3. 600°C에서 1시간동안 열처리한 후 SEM으로 측정된 박막표면

는 반응성 가스의 분위기중 600°C에서 1시간 동안 열처리를 한 시료이다.

그림 3의 (a)에서는 앞서 논의한 바와 같이¹⁾, 검은 점으로 나타나는 기공(porosity)들이 크고 명확하며 석출물들이 곳곳에서 나타나 작은 구를 형성하여 grain들에 붙어있다. 그러나 (b)에서는 이와 달리 기공(porosity)들로 보이는 검은 점들이 (a)보다 작으며, 석출물들의 크기도 매우 작으며 고르게 분포하여 있는 것으로 보인다. 이것은 가스내 열처리시 가스에 의한 전기로내 열전도가 진공로보다 더 잘되기에 박막 전체적으로 진공보다 고온으로 고루 가열되어 나타난 것으로 보인다

또한 표면구조와 면저항과의 상관관계는 다음과 같이 이해할 수 있다. 가스분위기에서 박막제작시에는 박막내에 가스로 인한 절연상(insulator phase)이 형성되어 전체적인 면저항이 증가하므로써 그림 2와 같은 결과가 나타난 것으로 이해된다. 또한 가스내의 열처리시 500℃에서 면저항이 급격하게 증가하는 것도 박막이 가열되었다가 냉각되는 과정에서 박막 내부에 절연상이 형성되어 생기는 현상으로 이해된다. 그러나 전체적인 면저항 값은 그림 2와 비교해 볼 때 매우 적은 값으로 나타나는 것으로 볼 때 가스내에서 제작하는 것에 비해서는 매우 적은 양의 절연상의 형성되는 것으로 보인다. 또한 600℃에서는 진공 열처리나 가스 열처리가 동일한 면저항 값을 가진다. 이는 이전 x-ray 결과¹⁾로 볼 때 명확한 다결정구조를 가지는 박막에서의 전기전도는 비정질구조에서의 전기전도와 근본적인 차이에 의한 것으로 생각할 수 있다. 즉 비정질구조에서는 절연상이 전도에 큰 영향을 미치나, 결정구조에서는 절연상이 전기전도와 상관관계가 없는 것으로 생각된다.

3.3 저항온도계수(TCR)

저항온도계수(TCR)는 온도에 따른 저항값의 변화율로 저항소자의 특성을 결정하는 가장 중요한 요소 중의 하나다. 본 연구에서는 Siganton사의 hot chuck station을 사용하여 20~120℃의 범위에서 10℃ 간격으로 측정하였다. 그 결과는 그림 4와 같다.

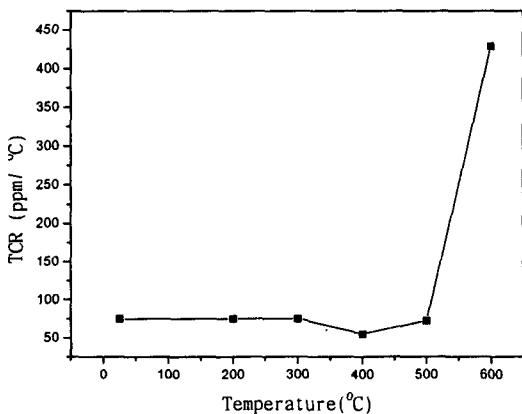


그림 4. 진공열처리 온도에 따른 TCR의 변화

그림 4는 앞서 설명한 바와 같이¹⁾, as-sputtered 상태의 80 ppm/℃에서 점차적으로 작아지다가 다시 증가하여 600℃에서 440 ppm/℃로 급격하게 증가

한다. 이는 박막내 grain들의 크기와 결정구조로 이해하였다. 그러나 이 상태로는 near zero-TCR을 가지는 저항소자를 제작할 수가 없다. 그래서 반응성 가스를 흘리면서 박막저항을 제작하였고, 제작된 박막저항 시편의 온도저항계수를 측정한 결과는 그림 5와 같다.

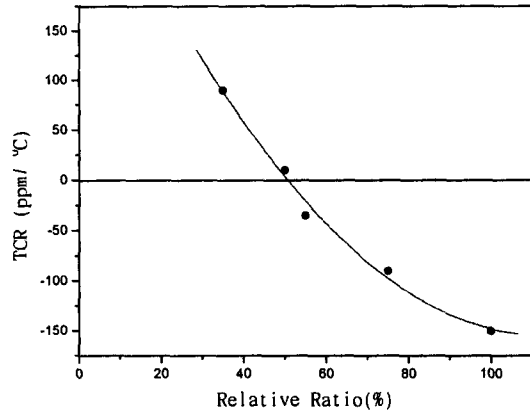


그림 5. 반응성 가스내에서 제작한 박막저항의 TCR 변화

그림 5에서는 as-sputtered 상태의 80 ppm/℃에서 가스의 상대적 양이 증가함에 따라 점차적으로 -기울기로 감소하는 경향을 나타내어 100% 비에서는 -150 ppm/℃까지 감소한다. 이는 저항온도계수가 +80~-150 ppm/℃ 내의 박막저항, 즉 near-zero TCR 박막저항을 가스의 상대적 비(ratio)만 조절하여 쉽게 만들 수 있다는 것을 의미한다. 현재 negative-TCR을 나타내는 원인은 비연속 박막(Discontinuous films)에서는 입자크기(particle size)와 입자간의 거리(particle spacing)에 따라 여러 전도이론으로 설명하며, 연속 박막(Continuous films)에서는 박막의 두께와 불순물의 존재로 해석하고 있다³⁾. 본 연구에서 나타난 negative-TCR에 대한 정확한 전도이론은 좀더 연구되어야 할 것이다.

4. 결론

99.5% 알루미늄(Al_2O_3) 기판위에 dc magnetron sputtering 법을 사용하여 제작한 NiCr 박막저항의 여러 전기적 특성을 조사하였다. 이때 제작 환경은 Ar, 반응성 가스를 각각 섞어가며 제작하였으며, 또한 열처리도 진공과 반응성 가스내에서 실시하였다. 그 결과 기판의 면저항은 열처리 온도가 증가함에

따라 조금씩 감소하다 400℃에서 부터 증가하였으며, 특히 반응성 가스내에서 열처리한 시편은 500℃에서 급격하게 증가하였다가 다시 감소하였다. 반응성 가스내에서 제작한 시편의 면저항은 가스의 비가 증가함에 따라 계속적으로 증가하였다. 진공상태에서 제작된 NiCr 박막저항의 저항온도계수(TCR)는 대략 ~50 ppm/℃ 이상의 + 값을 가지나, 반응성 가스내에서 제작한 박막저항의 온도계수는 +80 ~ -150 ppm/℃ 의 범위에서 자유롭게 제작 할 수 있었으며, 이로부터 near zero-TCR 박막저항을 구현 할 수 있었다. 더욱 안정적인 저항소자로서 박막저항을 제작하기까지 앞으로도 계속적인 연구가 진행 될 것이다.

참고 문헌

- [1]. 류제천,김동진,박종완,김용일,김규태,송양섭,유광민
2000년도 대한전기학회 하계학술대회논문집,
pp1640-1642.
- [2]. David S. Peloff, Frederick E. Wahl, and James
Conrigan, "Four-Point Sheet Resistance
Measurements of Semiconductor Doping
Uniformity", J. Electro- chem. Soc., Vol 124,
No.4, p582, April 1977
- [3]. L. Maissel, R. Glang , Handbook of thin film
technology