

NiCr과 NiCr-N 박막의 전기저항 특성에 관한 연구

김동진, *류제천, *김용일 *강전홍 *유광민, 김장환
 부산대학교 물리학과, *한국표준과학연구원

Study on electrical resistance in NiCr and NiCr-N thin films

D.J.Kim, *J.C.Ryu, *Y.I.Kim, *J.H.Kang *K.M.Yu, J.H.Kim
 Pusan Nation Univ., *KRISS

Abstract - We studied on structure and resistivity, temperature coefficient of resistance (TCR) of NiCr and NiCr-N thin resistor films prepared by dc reactive magnetron sputtering of NiCr target. It is found that while pure NiCr films are polycrystalline, an addition of nitrogen (N₂/(Ar+N₂) ratios are between 10% and 70%) into the film is changed into amorphous structure and sheet resistance of films is increased. Measurement temperatures of TCR are ratios of 5°C per 15min from 25°C to 130°C. TCR for an as-deposited NiCr-N thin film is varied from positive to negative.

NiCr와 NiCr-N 박막은 각각 순수한 Ar 가스와 Ar+N₂ 혼합가스를 사용하여 dc magnetron sputtering system으로 제작하였다. 초기 진공도는 10⁻⁷ Torr 이하로 하였으며, sputtering을 하기 위한 작업 진공도는 3 mTorr로 하였다. Ar와 N₂는 각각의 mass flow control로 혼합된 후 챔버 안으로 들어갔다. 기판은 SiO₂가 thermal로 500 nm 올려진 Si wafer(100)를 사용하였으며 가로, 세로 15×15 mm 의 크기로 절단하여 사용하였다.

모든 박막은 동일한 조건하에서 단지 N₂의 비(ratio)만을 변화시키기 위해 전류, 기판과 target과의 거리, 총 가스 압력 (P_T=P_{Ar}+P_{N₂}=3 mTorr), 기판온도, sputtering 시간 (t_d = 10 min)을 고정시켰다. 전형적인 막의 두께는 960 nm이었다. 제작된 박막의 구조적 특성은 X-ray 회절측정을 통하여 30° ≤ 2θ ≤ 85° 에서 조사하였다. 두께와 면저항을 측정하여 그 값으로부터 두께에 대한 비저항을 구하였고, Ar+N₂ 가스에 대한 N₂ 가스 비율에 관해 면저항을 측정하였다. 저항은 도계수를 측정하기 위하여 박막은 photolithography의 lift off 방식으로 저항패턴을 형성하였다. 먼저 4 terminal 저항측정 구조패턴으로 PR작업을 한 후 sputtering하였고 다시 PR을 제거하였다. 이 박막 위에 다시 전극을 올리기 위해 전극 PR 작업을 한 후 thermal evaporator로 Ti 10nm 와 Au 200nm로 전극을 증착하였고 다시 PR을 제거하였다. 제작된 샘플을 hot chuck에 올려 25°C에서 130°C까지 15분당 5°C의 간격으로 온도를 올리고 내리면서 저항온도계수를 측정하였다. 그 패턴은 그림 1과 같다.

1. 서 론

NiCr은 가장 자주 사용되는 박막저항 물질중 하나이다. NiCr은 대략 20에서 70 wt%까지의 Cr을 포함하는 성분비를 이용하며 게다가 다른 원소들을 소량 첨가하여 이용하기도 한다. NiCr 박막은 저항체로서 뿐만 아니라 thermocouples, 다른 박막들의 확산 보호막, 습도 센서 등으로도 이용되며, NiCr박막을 산화시키거나 질화시켜 응용되기도 한다.

NiCr 합금을 저항체에 사용하는 주된 이유는 저항변화에 대한 안정성이 좋고, 저항온도계수(temperature coefficient of resistance, TCR)도 ±10 ppm/°C로 작은 값을 얻을 수 있고, 면저항(Sheet resistance)도 10 ~ 300 Ω/sq로서 비교적 높은 저항값을 얻을 수 있으며, 전기적 특성이 좋아 박막저항으로 많이 사용되고 있다.

본 실험은 기판과의 절연을 위해 500 nm의 SiO₂가 올려진 Si wafer 위에 NiCr 박막을 제작하였고, NiCr 박막을 질화시키기 위하여 reactive sputtering 방법으로 총 가스(아르곤과 질소 가스)압력에 대하여 질소 가스 압력의 비율 변화시켜 NiCr-N 박막을 제작하였다. 구조분석을 위하여 x-ray 회절 분석을 하였고, 두께에 대한 비저항 구하였으며, 질소가스의 비에 대한 각각 샘플의 면저항을 측정하였다. 그리고 25°C에서 130°C까지 샘플들의 저항온도계수를 측정하였다.

2. 실험

2.1 정의

저항온도계수는 저항체에서 아주 중요한 요인이다. 대부분의 저항체는 온도가 바뀔때 따라 저항값이 변하는데 이 변하는 정도를 저항온도계수라 하고 다음과 같이 정의된다.

$$TCR(T) = \frac{1}{R(T)} \frac{dR(T)}{dT} \quad \text{or} \quad \frac{R(T_1) - R(T)}{R(T)(T_1 - T)} \quad (1)$$

여기서 T₁ > T이다.

2.2 샘플제작과 측정

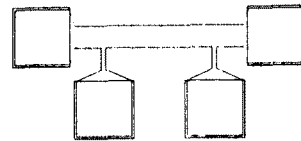


그림 1. 4-terminal 저항측정 구조패턴과 전극 패턴

3. 결과 및 고찰

3.1 NiCr 박막

박막에 있어서 면저항(sheet resistance)과 비저항(resistivity)의 관계는 다음과 같다.

$$R_s = \frac{\rho}{d} \quad (2)$$

여기서 R_s는 면저항, ρ는 비저항, d는 막의 두께이다. NiCr 박막의 두께에 대한 비저항과 면저항을 그림 2에 나타내었다. 비저항은 면저항과 두께를 측정하여 계산하였다. 비저항 값은 두께가 증가함에 따라 감소함을 보이다가 일정한 값으로 접근함을 알 수 있다. 이것은 비저항에 관한 막의 두께영향으로 알려져 있다.[1] 전자

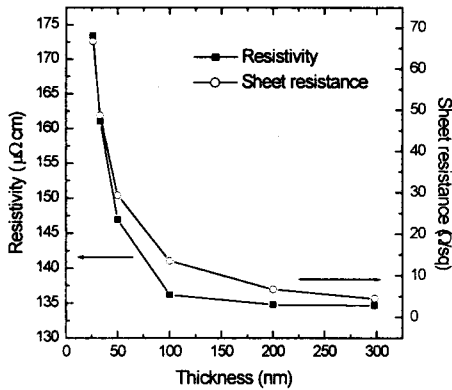


그림 2. NiCr 박막의 두께에 대한 비저항과 면저항

들은 막의 표면에서 어떤 종류의 반사를 일으킬 것이기 때문에 시편이 표면과의 충돌이 충분할 정도로 얇아질수록 비저항은 증가한다. 즉, 막의 두께가 얇아질수록 전자의 평균자유행로는 짧아지게 된다. NiCr 박막은 두께가 약 300 nm 정도 이상일 때 거의 일정한 비저항 값을 가짐을 알 수 있고 그 값은 $\rho = 134.69 \mu\Omega \cdot cm$ 이었다.

3.2 NiCr-N 박막

Reactive sputtering으로 제작된 NiCr-N 박막은 Ar+N₂의 총 가스 흐름을 14 sccm으로 유지시킨 후 질소 가스 양을 변화시켜 제작하였다. $P_{N_2} / (P_{Ar} + P_{N_2})$ 의 비는 0 ~ 70%까지 바꾸었다. 그림 3은 NiCr-N 박막의 X-ray 회절분석 데이터이다. 질소가 첨가되지 않은 순수 NiCr 박막은 polycrystalline 구조를 가짐을 알 수 있다. 질소가스의 양이 증가할수록 Ni(111), Cr(110) 피크는 점점 감소함을 보인다. 이것은 질소의 양이 늘어남에 따라 박막은 polycrystalline에서 amorphous 상태로 감을 알 수 있고, 저항온도계수에서도 확인할 수 있다.

NiCr-N 박막의 질소 양에 따른 면저항의 변화는 그림 4에 나타내었다. 질소 양이 증가함에 따라 면저항은 증가한다. 이것은 박막이 질화 될수록 금속의 성질에서 반도체적 성질로 바뀔 수 있는데 저항온도계수가 양의 계수에서 음의 계수로 바뀌는 것으로 확인할 수 있다.

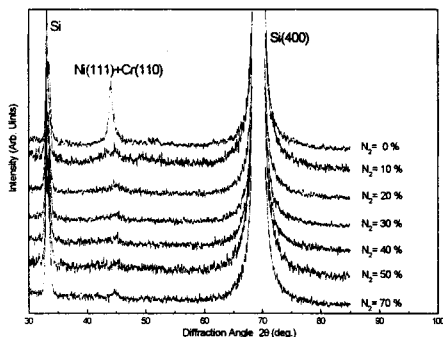


그림 3. NiCr-N 박막에서 첨가된 N₂ 가스의 변화에 대한 X-ray 회절 분석 곡선

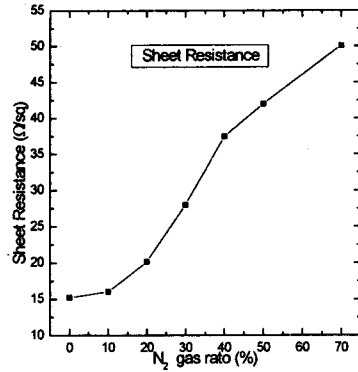


그림 4. NiCr-N 박막의 N₂ 가스에 대한 면저항

3.3 저항온도계수 (TCR)

일반적으로 금속의 저항온도 계수는 양의 계수이다. 즉 온도가 증가함에 따라 저항값은 증가한다. 그것은 포논 진동이 커져 전자 평균자유행로가 짧아지기 때문이다. 이와 같이 온도가 증가함에 따라 저항이 커질 때 양의 저항온도계수라고 한다. As-deposition된 NiCr 박막의 경우 양의 TCR이 나온다. 이것은 X-ray 회절 분석에서와 같이 순수한 NiCr 박막은 polycrystalline 구조를 형성하기 때문이다. 그림 5는 순수한 NiCr 박막의 온도에 대한 저항값의 변화 곡선이다. TCR을 측정하기 위해 샘플은 hot chuck에 올려져 25 °C에서 130 °C까지 15분당 5 °C씩 온도를 올렸다가 내렸다. 온도 사이클을 2번 진행시켰는데 저항값은 비가역적임을 보였다. 첫 번째 온도 사이클에서는 큰 저항변화가 생기는데 그 값은 초기 값으로부터 0.36 % 만큼 낮은 값으로 변화하였다. 이러한 변화는 as-deposition된 박막이 측정 온도가 올라감에 따라 대략 90 °C 근처부터 저항이 감소가 생기기 때문인데, 이는 박막의 원자가 재배열을 일어나게 하는 열처리 효과라고 생각된다(2). 온도가 90 °C에서 130 °C까지 올라가는 동안 재배열이 일어난 후 다시 온도를 감소시켰을 때는 선형적인 부분이 다시 나타났다. 두 번째 온도 사이클에서도 또한 100 °C 근처에서 다시 원자 재배열이 일어나서 저항값은 선형성을 벗어나고 130 °C까지 올려진 후 내려올 때 다시 선형성이 보이기 시작한다. 이러한 사실로부터 as-deposition된 박막은 온도 사이클에 대해 가역적이 되기 위해서는 적당한 열처리 과정이 필요함을 알 수 있었다.

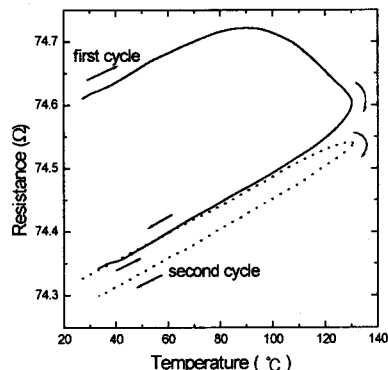


그림 5. NiCr 박막의 온도 사이클에 대한 저항값의 변화

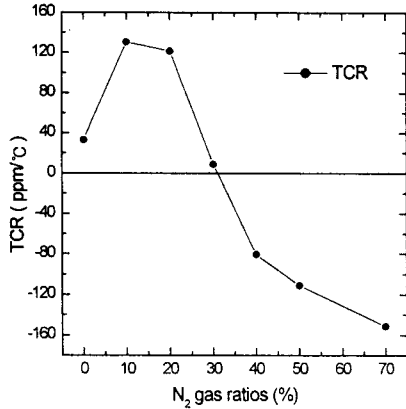


그림 6. NiCr-N 박막의 질소 비율에 대한 저항온도계수

그림 6은 질소가 첨가된 NiCr-N 박막의 총 가스에 질소 가스 비율에 관한 저항온도계수 변화곡선이다. 질소가스가 10 %의 비율이었을 때는 갑작스런 TCR 증가가 보였고 그 후 질소 비율이 증가함에 따라 그 값은 점점 작아지면서 양의 TCR에서 음의 TCR로 변함을 알 수 있다. 금속에 있어서 음의 TCR은 여러 amorphous 물질과 소위 quasicrystalline 물질과 같은 준안정(metastable) 상태에서 일어난다[3]. X-ray 회절 분석에서 볼 수 있듯이 더 많은 질소는 amorphous 상태로 변하고 있음을 알 수 있다. 0 %에서 70 %까지의 질소 비율에 대해 TCR은 +130.6 ppm/°C에서 -151.1 ppm/°C까지의 영역을 가졌고, 30 % 근처에서 zero TCR에 가까이 접근하였다. TCR 데이터는 첫 번째 온도 사이클에서 온도가 내려올 때 선형적인 두 온도 사이에서 측정하였다.

4. 결 론

NiCr과 NiCr-N 박막을 Ar과 N₂ 가스를 혼합하여 dc reactive magnetron sputtering 방법으로 SiO₂가 500 nm 올려진 Si wafer 위에 제작하였다. 순수한 NiCr 박막의 경우 두께에 대한 비저항 값은 두께가 증가할수록 비저항은 급격히 감소되어 300nm 이상에서 일정한 값으로 접근함을 알 수 있었고 그 값은 $\rho = 134.69 \mu\Omega \cdot cm$ 이었다. NiCr-N의 경우, 총 가스에 대한 질소 비율이 증가함에 따라 X-ray 회절 분석으로부터 polycrystalline에서 amorphous 상태로 상전이 됨을 알 수 있었고, 먼저는 점차적으로 증가함을 보였다. NiCr-N 박막의 저항온도계수는 측정 온도 사이클에서 비가역적임을 보였고, 이것은 원자의 재배열로 생각되어진다. 질소 비율이 증가함에 따라 TCR 값은 순수 NiCr에서는 양의 TCR을 보였고, 10%에서 갑자기 증가하다가 양의 TCR이 줄어들면서 음의 TCR로 변화되었다. 이러한 양의 TCR에서 음의 TCR로의 변화는 polycrystalline 구조에서 amorphous 상태로 구조 변화가 생김으로써 분석되어진다.

[참 고 문 헌]

- [1] Maissel, Leon I. ed. , *Handbook of thin film technology* (McGraw-Hill, 1970) chap. 13
- [2] W. Bruckner, W. Pitschke, and J. Thomas, "Stress, resistance, and phase transition in NiCr(60