

## DC 마그네트론 스퍼터링 NiCr 박막의 열처리 조건에 따른 미세구조 및 표면특성

### Micro Structure and Surface Characteristics of NiCr Thin Films Prepared by DC Magnetron Sputter according to Annealing Conditions

권 용<sup>1</sup>, 김남훈<sup>2</sup>, 최동유<sup>2</sup>, 이우선<sup>3</sup>, 서용진<sup>4</sup>, 박진성<sup>1,a</sup>

(Yong Kwon<sup>1</sup>, Nam-Hoon Kim<sup>2</sup>, Dong-You Choi<sup>2</sup>, Woo-Sun Lee<sup>3</sup>, Yong-Jin Seo<sup>4</sup>, and Jin-Seong Park<sup>1,a</sup>)

#### Abstract

Ni/Cr thin film is very interesting material as thin film resistors, filaments, and humidity sensors because their relatively large resistivity, more resistant to oxidation and a low temperature coefficient of resistance (TCR). These interesting properties of Ni/Cr thin films are dependent upon the preparation conditions including the deposition environment and subsequent annealing treatments. Ni/Cr thin films of 250 nm were deposited by DC magnetron sputtering on Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si substrate with 2-inch Ni/Cr (80/20) alloy target at room temperature for 45 minutes. Annealing treatments were performed at 400 °C, 500 °C, and 600 °C for 6 hours in air or H<sub>2</sub> ambient, respectively. The clear crystal boundaries without crystal growth and the densification were accomplished when the pores were disappeared in air ambient. Most of surface was oxidic including NiO, Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Cr<sub>x</sub>O<sub>y</sub>(x=1,2, y=2,3) after annealing in air ambient. The crystal growth in H<sub>2</sub> ambient was formed and stabilized by combination with each other due to the suppression of oxidized substance on film surface. Most oxidic Ni was restored when the oxidic Cr was present due to its stability in high-temperature H<sub>2</sub> ambient.

**Key Words** : NiCr thin film, DC magnetron sputter, Annealing, X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

#### 1. 서론

최근 전자부품의 소형화 및 경량화에 부흥하여 산화물 세라믹 재료 및 합금 재료들의 전자재료 혹은 반도체재료로 사용하기 위한 박막화 연구가 활발히 이루어지고 있다. 전열합금 발열체의 한 종류인 NiCr 합금은 내고온 산화성과 내부식성이 우

수하여 저항 및 발열체로서 널리 사용되어 왔으며, 최근에는 chip resistor, micro-heater 등의 재료로 심도 있는 연구가 진행되고 있다[1-3]. 또한 NiCr 합금 박막은 낮은 저항온도계수(TCR)와 큰 고유 저항을 갖기 때문에 전자산업분야에서 저항 장치로 기술적 응용 및 중요성이 증가하고 있다[4-6]. NiCr 합금 박막의 특성은 제조공정이나 증착환경 및 열처리 등에 의해 좌우되기 때문에 NiCr 합금 박막의 표면 화학조성에 대한 보다 명확한 이해가 요구되어 초기 산화효과 및 열처리 효과에 대한 연구가 진행되어지고 있다[7-10]. 하지만, 박막화시의 열처리 분위기에 따른 막의 특성 변화에 대한 연구가 미흡한 실정이다[11]. 이러한 연구들에서 NiCr 합금 박막 표면에서 산화층 형성 및 미세구조의 변화 등의 특성분석을 위해 AES(Auger

1. 조선대학교 신소재공학과  
(광주시 동구 서석동 375)  
2. 조선대학교 에너지자원기술연구소  
3. 조선대학교 전기공학과  
4. 대불대학교 전기전자공학과  
a. Corresponding Author : jsepark@chosun.ac.kr  
접수일자 : 2004. 12. 6  
1차 심사 : 2005. 4. 20  
심사완료 : 2005. 5. 9

electron spectroscopy), XPS(X-ray photoelectron spectroscopy) 등의 분석방법이 이용되고 있다[7]. 따라서, 본 연구에서는 NiCr 합금 타겟을 사용한 DC 마그네트론 스퍼터링법으로 NiCr 박막을 증착시켜[12], 열처리 온도 및 분위기에 따른 박막의 결정구조 및 미세구조변화, 조성변화 및 표면특성 등을 조사 분석하였다.

## 2. 실험 방법

NiCr 박막을 제조하기 위해 Ni:Cr의 비가 80:20 이고 지름이 2-inch인 NiCr 합금 타겟을 사용하였다. NiCr 박막을 증착하기 위해 사용된 기판은 (100) 방향성을 갖는 p형의 실리콘 단결정을 사용하였고, 기판과 NiCr 증착막 사이에 절연을 위하여  $Al_2O_3$ 막을 e-beam evaporator로 증착하였다. 이때 증발원으로는 분쇄된 알루미늄 소결체(99.8 %, Aldrich Co.)를 사용하였고, e-beam power는 7.23 Kw, 전류는 70 mA 상태에서 산소를 3 sccm 흘려주며 약 120 nm 두께로  $Al_2O_3$  절연막을 형성시켰다. 제조된  $Al_2O_3/Si$  기판 위에 DC 마그네트론 스퍼터를 사용하여 NiCr 박막을 약 250 nm의 두께로 증착시켰다. 증착조건은 표 1과 같이 NiCr(80:20) 합금 타겟을 사용하여 상온에서  $8.0 \times 10^{-6}$  Torr 이하의 진공상태에서 Ar 가스를 50 sccm 흘려주며, DC파워 450 V, 50 mA를 인가하여 45분 동안 증착하였다. 증착된 NiCr 박막의 열처리 온도에 따른 미세구조 변화 및 열처리 분위기에 따른 NiCr 박막의 표면 산화 특성을 관찰하기 위하여 400 °C, 500 °C, 600 °C에서 공기 중과 수소 분위기로 각각 6시간 동안 열처리하였다. 박막의 특성 분석은 주사전자현미경(SEM; Hitachi S-4700)분석을 통하여 박막의 미세구조 변화를 고찰하였으며, 두께에 따른 조성변화 및 열처리 과정에서 NiCr 박막과  $Al_2O_3$  절연막 사이의 경계면에서 열적 거동을 관찰하기 위하여 AES(Perkin-Elmer PHI-660)를 이용하였다. AES 분석 조건은 beam voltage는 5 kV, 기울기(tilt)는 30 degree, 스퍼터 시간은 12초 간격으로 하였다. 또한 표면분석을 위해 XPS(VG-Scientific ESCALAB 250) 분석을 하였다. XPS 분석은 X-ray 에너지 source로 Al ka(1486.6 eV)를 이용하였고, 스캔 간격은 각각 1 eV(wide scan spectrum), 0.05 eV(narrow scan spectrum)로 하였다.

## 표 1. NiCr 박막의 증착 조건.

Table 1. Deposition condition of NiCr thin film.

Parameter	Condition
Substrate	$Al_2O_3/Si$ -Substrate
Target	NiCr(80:20) alloy target
Vacuum	$8.0 \times 10^{-6}$ Torr
Ar Gas	50 sccm
DC Power	450 V, 50 mA (22.5 W)
Rotate(Sub.)	15 rpm
Deposition Temp.	at room-temperature
Deposition Time	45 minutes

## 3. 결과 및 고찰

제조된 NiCr 박막의 SEM 분석 결과를 그림 1과 그림 2에 나타내었다. 그림 1은 공기 중에서 열처리한 시편들의 SEM 사진이고, 그림 2는 수소 분위기에서 열처리한 시편들의 SEM 사진이다. 그림 1의 공기 중에서 열처리한 시편들을 살펴보면 400 °C에서 작은 결정입자들의 형성이 관찰되고, 이후 500 °C에서 미세한 결정 성장과 함께 기공이 형성됨을 알 수 있다. 600 °C에서는 결정 성장 없이 입계가 뚜렷해지고, 형성된 기공들이 사라지면서 치밀화가 이루어졌다. 일반적인 열처리과정에서 치밀화와 입자성장은 동시에 일어나며, 입자성장 시에 기공은 성장하고 치밀화 시에 기공은 수축한다[13]. 여러 경우에서 치밀화와 입자성장의 혼합은 기공성장 혹은 기공수축에 이르게 한다. 특히, 500 °C에서 열처리한 시편처럼 비슷한 크기의 기공 구조를 형성할 경우 치밀화는 빨리 일어난다[13]. 즉, 공기 중에서 열처리한 경우 작은 크기의 입자들이 다량 형성되어 결정성장을 억제하고, 작고 균일한 크기의 기공구조를 형성하므로 치밀화가 빨리 일어난다. 한편, 그림 2의 수소 분위기에서 열처리한 시편들은 400 °C에서 약 100~300 nm 이상의 크기를 갖는 결정 성장들이 나타나고, 열처리 온도가 증가할수록 생성된 결정들이 서로 결합하여 더 큰 결정으로 성장하는 것을 확인할 수 있다. 600 °C로 열처리한 사진을 보면 400~600 nm 이상의 크기를 갖는 커다란 결정성장이 나타났다. 이러한 특성은 공기 중에서 열처리한 경우에는 표면에서 Ni, Cr 결정들이  $Cr_xO_y$ ,  $Ni_kO_n$ 와 같은 산화물로 형성되면서 안정한 상태가 되어 작고 균일한 입자 분포와 비슷한 크기의 기공구조를 갖는 반면, 수소 분위기에서 열처리한 시편들은 표면에서의 산화물 형성이 억제되어 상대적으로 미량의 결정들이 생성되었기 때문이다. 그리고 형성된 결

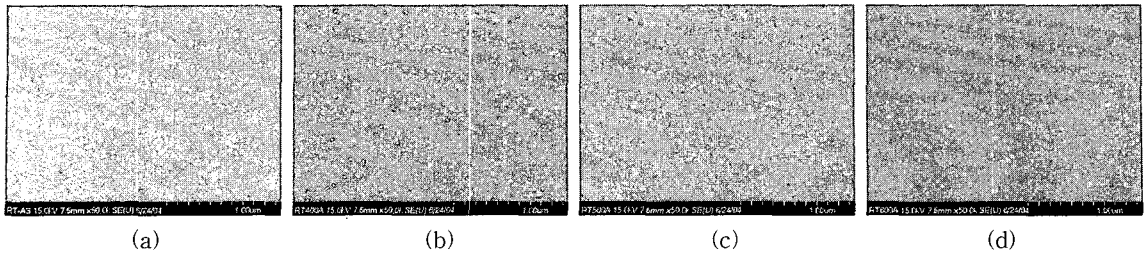


그림 1. 공기 중에서 다양한 온도 조건에 따라 6시간 열처리한 NiCr의 표면 및 단면 FESEM 사진; (a) 증착 후, (b) 400 °C, (c) 500 °C, (d) 600 °C.

Fig. 1. FESEM surface and cross-sectional images for NiCr annealed at various temperature for 6 hr in Air.; (a) As-dep., (b) 400 °C, (c) 500 °C, and (d) 600 °C.

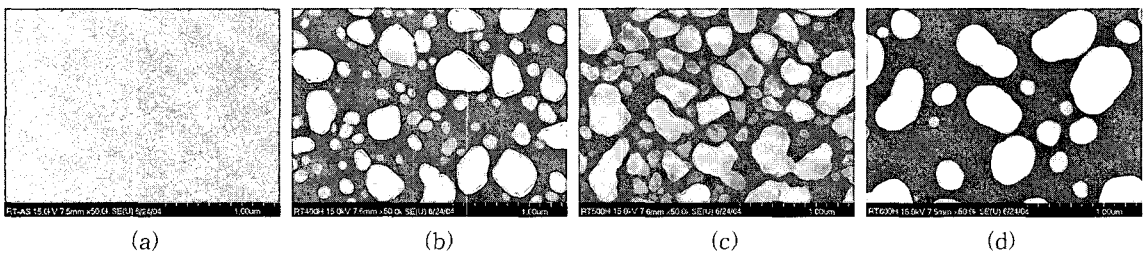


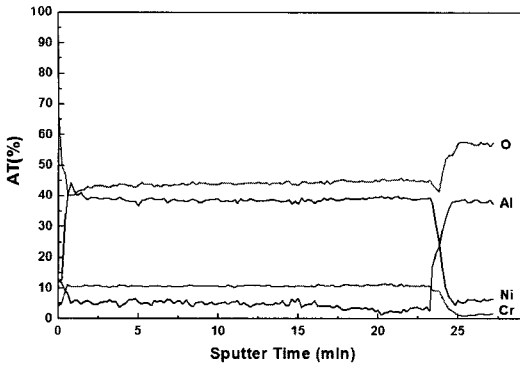
그림 2. 수소 분위기에서 다양한 온도 조건에 따라 6시간 열처리한 NiCr의 표면 및 단면 FESEM 사진; (a) 증착 후, (b) 400 °C, (c) 500 °C, (d) 600 °C.

Fig. 2. FESEM surface and cross-sectional images for NiCr annealed at various temperature for 6 hr in H<sub>2</sub>; (a) As-dep., (b) 400 °C, (c) 500 °C, and (d) 600 °C.

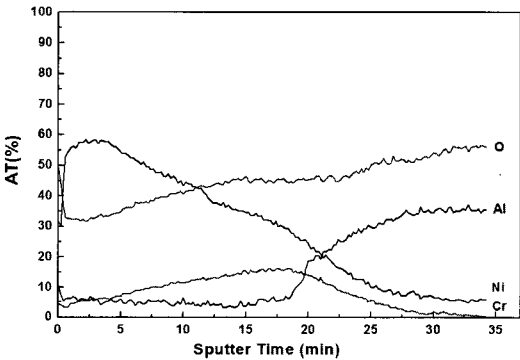
정 입자들이 서로 결합하여 결정성장을 함으로써 커다란 결정입자를 형성하였다.

수소 분위기에서 형성된 결정입자의 조성을 규명하고, NiCr 박막과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막 사이의 경계면에서 확산거동을 조사하기 위하여 수소 분위기에서 500 °C로 열처리한 시편을 Auger depth profile 분석을 하였고, 분석 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림 3의 (a)는 증착 후 열처리 전 시편의 분석결과이고, (b)는 500 °C로 수소 분위기에서 6시간동안 열처리한 시편의 분석결과이다. 증착 후 열처리하지 않은 시편에서는 Ni 성분, Cr 성분 모두 막의 표면에서 내부까지 전체적으로 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다. 이후 열처리를 하면 Cr 성분은 표면에 소량 존재하고 내부로 이동하여 표면보다 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막 쪽에 다량 분포하고 있고, Ni 성분은 막의 내부에서 표면으로 이동 확산하여 표면 부근에 다량 분포하고 있으며 내부로 갈수록 그 양이 감소함을 알 수 있다. 또한 산소가 표면에서는 그 양이 감소하고, 막의 내부로 갈수록 증가함을 알

수 있다. AES 분석결과 수소 분위기로 열처리하면 표면에서 산화물 형성이 억제되어 Ni-metal이 형성되고, 미량의 Ni 산화물과 Cr 산화물이 존재하는 것으로 판단된다. 또, 막의 내부로 갈수록 산소와 Cr의 양이 동시에 증가하는데, 이는 막의 내부에는 Cr 산화물이 형성되는 것으로 사료된다. 즉, 표면에는 Ni-metal과 소량의 Ni 산화물, Cr 산화물이 피막을 형성하고 있고, 점차 내부로 갈수록 Ni 성분과 Cr 성분의 혼합된 영역이 존재하며 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막 부근에는 Cr-metal과 Cr 산화물이 존재함을 확인할 수 있다. 또, 열처리 과정에서 NiCr 증착막과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막 사이의 경계면에서 Cr 성분과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막의 상호확산이 일어난다. 이러한 상호확산이 일어나는 이유는 내부에 형성된 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 산화물과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 화합물은 열처리 과정에서 상호확산이 일어나는 이질동상(isomorph) 화합물이기 때문이다[14]. 즉, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막 부근에 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 존재함을 의미한다.



(a)



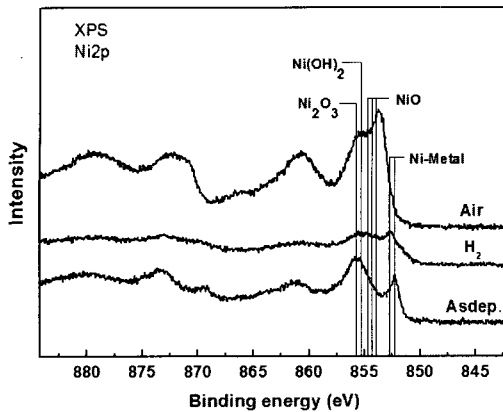
(b)

그림 3. NiCr 박막의 깊이에 따른 조성분석 (a) 열처리 전 시편 (b) 500 °C에서 수소 분위기로 6시간동안 열처리한 시편.

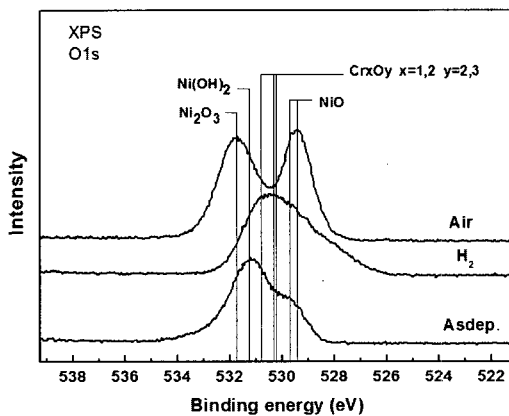
Fig. 3. Auger depth profiles for NiCr thin films (a) before annealed and (b) after annealing at 500 °C for 6 hr in H<sub>2</sub>.

NiCr 박막의 열처리 온도 및 분위기에 따른 박막의 표면특성을 분석하기 위해 XPS 분석을 하였다. 그 분석 결과를 그림 4에 나타내었고, 모든 결합에너지(binding energy) 값을 C 1s(284.5 eV)로 보정하였다. 먼저, 그림 4에 나타낸 열처리 전 시편의 스펙트럼을 비교분석하면 (a) Ni 2p 스펙트럼에서는 852.3 eV와 855.6 eV에서 각각 Ni-metal과 Ni(OH)<sub>2</sub>가 검출되고, 두 스펙트럼사이의 853.7 eV에서 미량의 NiO가 검출되었다. 그리고 (b) O 1s 스펙트럼에서도 531.2 eV와 529.85 eV에서 각각 Ni(OH)<sub>2</sub>와 NiO가 검출되었다. 두 스펙트럼 모두 다량의 Ni(OH)<sub>2</sub>가 검출되는 것으로 보아 증착 후 열처리 전 시편의 표면에서 대부분의 산소는 OH 형태로 존재하고 있음을 알 수 있다. 이러한

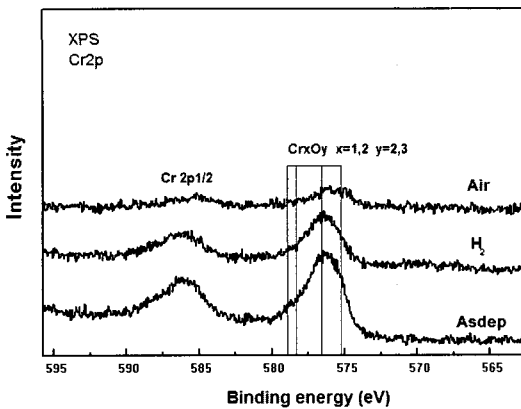
OH 결합은 XPS 분석을 위해 시편의 이동 중에 대기 중의 수분에 노출되어 흡착되었거나 타겟 내부의 native oxide에 의한 것으로 판단된다[15]. 또, (c) Cr 2p 스펙트럼에서 575 eV~580 eV 사이에 다양한 Cr 산화물(Cr<sub>x</sub>O<sub>y</sub>; x=1,2, y=2,3)이 중첩되어 검출되고, (b) O 1s 스펙트럼에서도 530 eV~531 eV 사이에서 Cr 산화물(Cr<sub>x</sub>O<sub>y</sub>; x=1,2, y=2,3)이 중첩되어 검출되고 있다. 즉, 열처리 전의 시편 표면에서 Ni 성분은 대부분의 Ni-metal과 Ni(OH)<sub>2</sub> 및 상대적으로 적은 양의 NiO 형태로 존재하고, Cr 성분은 소량의 Cr 산화물 형태로 존재하고 있음을 알 수 있다. 이후 열처리과정에서 공기 중에서 열처리한 시편을 보면 (a) Ni 2p 스펙트럼에서 열처리 전 존재하던 Ni-metal과 Ni(OH)<sub>2</sub>는 사라지고, NiO(853.9 eV, 854.95 eV)가 증가하며, Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(855.8 eV)가 검출된다. 이는 (b) O 1s 스펙트럼에서 Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(531.7 eV)가 명확하게 검출되는 것으로 확인할 수 있다. 그리고, (c) Cr 2p 스펙트럼을 보면 Cr 산화물이 감소하여 검출 되었다. 이는 표면에 Cr 성분이 Ni 성분에 비해 상대적으로 적은 양으로 존재함을 나타내며, 앞서 설명한 AES 분석결과에서 Cr 성분이 열처리 과정에서 막의 내부로 이동하여 표면에는 소량이 존재하는 것과 일치함을 알 수 있다[16]. 반면에 수소 분위기에서 열처리한 시편의 경우에는 (a) Ni 2p 스펙트럼에서 공기 중 열처리 후 나타났던 NiO(853.9 eV, 854.95 eV)와 Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(855.6 eV)은 사라지고, Ni-metal (852.73 eV)과 Ni(OH)<sub>2</sub>(855.3 eV)가 검출된다. 또, 극히 미량의 NiO(854.3 eV)가 중첩되어 검출되었다. (b) O 1s 스펙트럼에서도 Ni(OH)<sub>2</sub>(531.2 eV)와 미량의 NiO(529.7 eV)가 중첩되어 검출되었다. 그리고, (c) Cr 2p 스펙트럼에서 Cr 산화물(578.3 eV, 576.6 eV)의 검출이 확인되었고, (b) O 1s 스펙트럼에서도 530 eV부근에서 Cr 산화물(Cr<sub>x</sub>O<sub>y</sub>; x=1,2, y=2,3)이 확인되었다. 이러한 결과로부터 Ni계 산화물들은 수소 분위기에서 Ni-metal로 환원된 것으로 판단된다. 특이한 점은 수소 분위기에서 열처리하더라도 Cr 산화물이 검출되는 것을 확인할 수 있는데, 이는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>이 고온에서 수소 분위기로 열처리하더라도 안정한 상태를 유지하기 때문이다 [17]. XPS 분석결과 증착 후 열처리 전 시편의 표면에는 Ni-metal, Ni(OH)<sub>2</sub>와 소량의 Cr 산화물이 존재하고, 공기중에서 열처리하면 NiO와 Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 형성되며, 수소 분위기에서 열처리하면 Ni 산화물들은 환원되고 Cr 산화물이 존재함을 알 수 있었다. 또한, 수소 분위기에서 Ni(OH)<sub>2</sub>는 나타나지만 Cr-OH 화합물이 나타나지 않는 것은 수소 원자



(a)



(b)



(c)

그림 4. NiCr 박막의 XPS 스펙트럼 (a) Ni 2p (b) O 1s (c) Cr 2p.

Fig. 4. XPS spectra obtained on NiCr thin films; narrow scan of (a) Ni 2p, (b) O 1s and (c) Cr 2p.

유동이 표층에서 수분을 생성하고 탈착함으로써, 상대적으로 불안정한 상태의 Cr계 수산화물들이 빠르게 제거되기 때문이다[18]. 그리고, 수소 분위기에서 열처리 후 형성된 커다란 입자는 먼저 AES 분석에서 표면에 Ni 성분이 다량 존재하므로 Ni계 화합물임을 유추할 수 있고, 이후 XPS 분석 결과 수소 분위기 열처리 후 시편의 Ni 2p 스펙트럼에서 Ni(OH)<sub>2</sub>(855.3 eV)와 O 1s 스펙트럼에서 Ni(OH)<sub>2</sub>(531.2 eV)가 명확하게 일치하므로 커다란 결정입자는 Ni(OH)<sub>2</sub>라는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

DC 마그네트론 스퍼터법으로 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Si 기판 위에 Ni:Cr의 조성이 80:20인 NiCr 합금 타겟을 이용하여 NiCr 박막을 증착하였다. 증착된 NiCr 박막의 열처리 온도 및 분위기에 따른 열적 거동 및 미세구조 변화, 표면 산화특성을 고찰하기 위하여 공기 중과 수소 분위기에 각각 400 °C, 500 °C, 600 °C로 열처리 온도를 변화시키면서 열처리하였다. 공기 중에서 열처리한 경우에는 산화물 형성이 용이하여, 다량의 작은 산화물 입자가 형성되어 입자성장을 억제하고, 500 °C에서 작고 균일한 크기의 기공구조를 형성한다. 또한, 치밀화가 빨리 일어나 작은 입자들의 균일한 분포와 치밀한 미세구조를 갖는다. 반면에 수소 분위기에서 열처리한 경우에는 산화물 형성이 억제되어 형성된 작은 입자들이 서로 결합하여 결정성장을 통해 안정화됨으로써 커다란 결정성장이 일어남을 알 수 있었다. 즉, 공기 중에서 열처리한 경우에 수소 분위기에서 열처리한 시편보다 작고 균일한 입자들의 치밀한 구조를 갖는 NiCr 박막을 얻을 수 있었다. 또, 열처리 과정에서 Cr 성분은 표면에 소량의 다양한 결합형태로 산화물을 형성하고, 막의 내부로 이동하여 Cr-metal로 존재하며, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연막 부근에는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 형성한다. 특히, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>은 이질동상 화합물로서 NiCr 박막층과 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 절연층 사이의 경계면에서 상호 확산이 일어난다. Ni 성분은 막의 내부에서 표면 쪽으로 확산하여 산화됨으로써 Ni 산화층을 형성하였다. 또, XPS 분석결과 증착 후 열처리 전의 시편의 표면에서는 Ni-metal, Ni(OH)<sub>2</sub> 및 소량의 NiO와 Cr 산화물이 검출되며, 표면의 산소는 공기 중 수분 노출에 의해 OH 결합 형태로 존재한다. 이후 공기 중에서 열처리하면 표면에는 NiO와 Ni<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr 산화물(Cr<sub>x</sub>O<sub>y</sub>; x=1,2, y=2,3)이 존재하며, 수소 분위기에서 열처리를 하

면 Ni 산화물은 환원되며, Cr 산화물( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ )은 안정한 상태로 존재한다. 그리고 형성된 커다란 결정 입자가  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ 임을 확인할 수 있다. 이와 같이 열처리 온도와 분위기에 따른 NiCr 박막의 미세구조 및 표면특성, NiCr 박막과  $\text{Al}_2\text{O}_3$  절연층 사이의 경계면에서의 상호확산, 열처리 분위기에 따른 표면에서의 산화 특성을 고찰함으로써, NiCr 박막의 열적 거동 및 안정성에 대한 특성을 이해하여, 열적 안정성이 높고 균일하며 치밀한 미세구조를 갖는 NiCr 박막의 제조에 응용 가능할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 논문은 2004년도 학술진흥재단의 중점 연구소 지원에 의해서 연구되었음(KRF-2004-005-D00008).

### 참고 문헌

- [1] A. Banovec and A. Zalar, "Investigation of sliding contact resistance of Ni-Cr/Au and Ni-Cr/Au-SiO<sub>2</sub> thin resistive films", *Thin Solid Films*, Vol. 164, p. 129, 1988.
- [2] A. Peled, J. Farhadyan, Y. Zloof, and V. Baranauskas, "The midrange and high temperature dependence of vacuum deposited NiCr thin film resistors", *Vacuum*, Vol. 45, No. 1, p. 5, 1994.
- [3] E.-M. Lee and S.-G. Yoon, "The structural and electrical properties of NiCr alloy for the bottom electrode of high dielectric (Ba,Sr)TiO<sub>3</sub> (BST) thin films", *Trans. EEM*, Vol. 4, No. 1, p. 15, 2003.
- [4] C. L. Au, M. A. Jackson, and W. A. Anderson, "Structural and electrical properties of stable Ni/Cr thin films", *J. Electron. Mater.*, Vol. 16, No. 4, p. 301, 1987.
- [5] G. Nocerino and K. E. Singer, "Resistance stabilization of Ni-Cr films by surface oxide formation", *J. Vac. Sci. Technol. B*, Vol. 16, No. 2, p. 147, 1979.
- [6] S. Hofmann and A. Zalar, "Correlation between electrical properties and AES concentration-depth profiles of NiCr thin films", *Thin Solid Films*, Vol. 39, p. 219, 1976.
- [7] G. B. Hoflund and W. S. Epling, "Oxidation study of a polycrystalline Ni/Cr alloy I: room-temperature exposure to O<sub>2</sub>", *Thin Solid Films*, Vol. 307, No. 1-2, p. 126, 1997.
- [8] J. Steffen and S. Hofmann, "Use of factor analysis with O KLL Auger spectra to distinguish chemisorption and oxide formation on Ni", *Surf. Sci.*, Vol. 202, No. 3, p. L607, 1988.
- [9] S. P. Jeng, P. H. Holloway, and C. D. Batich, "Surface passivation of Ni/Cr alloy at room temperature", *Surf. Sci.*, Vol. 227, No. 3, p. 278, 1990.
- [10] S. P. Jeng, P. H. Holloway, D. A. Asbury, and G. B. Hoflund, "Changes induced at Ni/Cr alloy surfaces by annealing and oxygen exposure", *Surf. Sci.*, Vol. 235, No. 2-3, p. 175, 1990.
- [11] W. Brücker and S. Baunack, "Electrical resistance and mechanical stress in NiCr/Cu/NiCr thin films", *J. of Appl. Phys.*, Vol. 85, No. 2, p. 935, 1999.
- [12] 윤석범, "DC 스퍼터링 증착에 의한 Al 전극을 갖는 전계발광소자 제작", *전기전자재료학회 논문지*, 13권, 5호, p. 376, 2000.
- [13] R. M. German, "Sintering Theory and Practice", John Wiley & Sons, Inc., p. 73, 1996.
- [14] R. M. German, "Sintering Theory and Practice", John Wiley & Sons, Inc., p. 198, 1996.
- [15] 김남훈, 권광호, 김창일, 장의구, "자장 강화 반응성 이온 식각 장비를 이용한 폴리브덴 박막의 식각 특성 연구", *전기전자재료학회 논문지*, 13권, 1호, p. 6, 2000.
- [16] 권용, 박용주, 최승평, 정진, 최광표, 류현욱, 박진성, "Thermal evaporation법으로 제조한 NiCr 박막의 증착 특성", *한국세라믹학회지*, 41권, 6호, p. 450, 2004.
- [17] 김병희, "이화학사전", 한국사전연구소, p. 573, 1995.
- [18] W. S. Epling, C. K. Mount, and G. B. Hoflund, "Study of a polycrystalline Ni/Cr alloy V. hydrogen-atom exposure", *Thin Solid Films*, Vol. 304, No. 1-2, p. 273, 1997.