

마이크로볼로미터 응용을 위한 스피ن 스프레이로 증착된 스피넬 박막

전창준¹, 이귀웅^{1,2}, 레득탕^{1,3}, 정영훈¹, 윤지선¹, 백종후¹, 조정호^{1,a}

¹ 한국세라믹기술원 지능형전자부품팀

² 단국대학교 신소재공학과

³ 성균관대학교 신소재공학과

Spin Spray-Deposited Spinel Thin Films for Microbolometer Applications

Chang Jun Jeon¹, Kui Woong Lee^{1,2}, Duc Thang Le^{1,3}, Young Hun Jeong¹, Ji Sun Yun¹,
 Jong Hoo Paik¹, and Jeong Ho Cho^{1,a}

¹ Intelligent Electronic Component Team, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology,
 Seoul 153-801, Korea

² Department of Advanced Materials Science & Engineering, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

³ School of Advanced Materials Science & Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

(Received September 29, 2014; Revised October 29, 2014; Accepted November 5, 2014)

Abstract: Spinel thin films were prepared by the spin spray technique to develop new thermal imaging materials annealed at low temperature for uncooled microbolometer applications. The spinel thin films were deposited from $[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$) solutions and then annealed at 400°C for 1 h in argon. Effects of Cu content (x) and deposition time on the electrical properties of the annealed films were investigated. With increasing deposition time, the resistivity of the annealed films increased. For the annealed films deposited for 1 min, the resistivity of $x=0.15$ films was lower than that of $x=0.1$ films due to the different grain sizes. The high temperature coefficient of resistance (TCR) of the annealed films could be obtained at temperature below 50°C. Typically, the resistivity of 127 $\Omega\cdot\text{cm}$ and TCR of -5.69%/K at 30°C were obtained for $x=0.1$ films with deposition time of 1 min annealed at 400°C for 1 h in argon.

Keywords: Temperature coefficient, Solution process, Spinel, Thin films, Microbolometer

1. 서 론

최근 광범위한 분야에서 장파장 적외선 (long

wave infrared) 감지에 대한 관심이 크게 높아지면서 주로 군사용으로 쓰이던 적외선 감지 장비들에서부터 산업시설의 관리, 누출가스, 화재 및 산불 감시, 체온 및 체열 진단, 자동차 라이트 등 민수용으로까지 크게 주목을 받고 있다.

적외선 감지용 비냉각형 마이크로볼로미터에 대한 제조사들의 MEMS (microelectromechanical systems) 공정기술은 최적화되어 기존의 적외선 감지 물질인

a. Corresponding author: goedc@kicet.re.kr

Copyright ©2014 KIEEME. All rights reserved.
 This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

바나듐 옥사이드 (VO_x) [1]와 비정질 실리콘 (a-Si) [2]를 대체할 새로운 감지 물질의 연구가 요구되고 있다. 이러한 적외선 감지 물질은 반도체 제조공정 (모놀리식 집적회로)과의 호환성, 감지 능력의 척도가 될 수 있는 높은 저항 온도계수 (temperature coefficient of resistance, TCR), 낮은 1/f 잡음, 최적의 신호 출력을 위한 낮은 비저항이 필요하다. 비록 VO_x와 a-Si은 낮은 비저항 (VO_x=10⁻²~10 Ω·cm, a-Si=~2×10² Ω·cm)을 가지지만, 낮은 TCR 값 (VO_x=-1.7%/K, a-Si=-2.2%/K)을 나타내며, 고온에서 안정하지 못하여 제품 응용 시 -15℃~50℃ 사이의 좁은 온도 범위에서만 동작이 가능하다. 따라서 VO_x와 a-Si은 저온 공정을 위한 극저온 장비가 필요하기 때문에 고비용의 단점이 있다.

이와 같은 VO_x와 a-Si의 단점들을 개선하기 위한 연구가 활발히 진행 중에 있으며, 벌크 형태의 페로브스카이트 (perovskite) 구조를 가지는 망가나이트 재료가 주로 조사되었다 [3,4]. Gutierrez 등 [3]은 YNi_xMn_{1-x}O₃ (x=0.4~0.5) 세라믹스가 -3.9~-5%/K의 TCR 값과 1,400~42,000 Ω·cm의 비저항 값을 나타낸다고 보고하였으며, Veres 등 [4]은 NTC 재료로 4,000~1×10⁹ Ω·cm의 높은 비저항 값을 나타내는 Fe를 첨가한 YMnO₃ 세라믹스를 보고하였다. 그러나 대부분의 세라믹스들은 열처리 온도가 높기 때문에 400℃ 이하의 낮은 열처리 온도가 요구되는 상보형 금속산화 반도체 (CMOS) 회로를 가지는 비냉각형 마이크로볼로미터에 적용하기 어렵다. 따라서 저온 열처리가 가능하며, 모놀리식 공정과의 호환성이 가능한 박막 증착 연구가 요구되어지고 있다.

박막을 증착하는 데에는 스퍼터링, 원자층 증착, 화학증착 (CVD) 등 여러 가지 방법들이 있는데, 대부분의 진공을 기본으로 하는 방법들은 높은 기판 온도뿐만 아니라, 최적의 특성을 나타내는 결정질 박막을 제작하기 위한 높은 열처리 온도가 필요하다. 저온 증착을 위한 방법으로는 전착 (electrodeposition), 화학욕 증착 (chemical bath deposition), 스핀 스프레이 (spin spray) 등이 있는데, 이중 스핀 스프레이 법은 넓은 면적의 기판에 증착이 가능하고 용액의 몰농도와 pH와 같은 변수들을 통해 막을 성장시키는 동안 고정된 값을 유지시켜주는 장점이 있다 [5]. Ko 등 [5,6]은 스핀 스프레이 법을 이용하여 높은 TCR (>-3%/K) 값과 낮은 비저항 (10~10,000 Ω·cm)을 가지는 400℃에서 열처리 된 스피넬 구조의 Cu, Zn이 첨가된 NiMn₂O₄ 박막을 보고하였다. 스피넬 구조를

가지는 벌크 형태의 [(Ni_{0.30}Co_{0.33}Mn_{0.37})_{1-x}Cu_x]₃O₄ 세라믹스를 실험실용으로 제작하여 우수한 전기적 특성을 확인한 후 이와 같은 조성을 선택하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 [(Ni_{0.30}Co_{0.33}Mn_{0.37})_{1-x}Cu_x]₃O₄ (0.1≤x≤0.2) 조성의 용액을 스핀 스프레이 법을 이용하여 증착 후, 400℃의 저온에서 열처리한 박막의 비저항과 TCR 값을 조사하였다. 또한, 박막의 미세구조와 두께 및 성분비 미치는 Cu 함량과 증착시간의 영향에 대해서 고찰하였으며, 비냉각형 마이크로볼로미터 박막 소재로서의 응용 가능성을 제시하였다.

2. 실험 방법

스핀 스프레이 증착은 반응용액 (reaction solution)과 산화용액 (oxidizing solution)을 이용하여 Nano Spray Coater (SRC-2200, E-Flex, Korea) 장비를 통해 행하였다. 반응용액의 출발물질로 고순도(≥99.9%)의 NiCl₂·6H₂O, MnCl₂·4H₂O, CoCl₂·6H₂O, CuCl₂·2H₂O (High Purity Chemicals, Japan)를 사용하였으며, [(Ni_{0.30}Co_{0.33}Mn_{0.37})_{1-x}Cu_x]₃O₄ (0.1≤x≤0.2) 조성비로 칭량하여 증류수를 용매로 하여 각각 NiCl₂·6H₂O (8.1 mM), MnCl₂·4H₂O (10 mM), CoCl₂·6H₂O (8.9 mM), CuCl₂·2H₂O (3.0~6.8 mM) 농도로 6시간 이상 교반하였다. 이때 반응용액의 pH 값은 5였다. 산화용액은 착화제, pH 완충제, 산화제로 각각 NH₄Cl (99.5%, Kanto Chemical, Japan; 20 mM), CH₃COOK (97%, Samchun Chemicals, Korea; 65 mM), H₂O₂ (34.5%, Samchun Chemicals, Korea; 5 mM)를 칭량하여 증류수를 용매로 하여 6시간 이상 교반하였다. 이때 산화용액의 pH 값은 7이었다. 반응용액과 산화용액의 용존 산소를 제거하고 침전 현상을 막기 위해 N₂ 가스로 버블링을 1시간 동안 행하였다. 산화용액에 pH 조절제인 NH₄OH (28~30%, Samchun Chemicals, Korea)를 첨가하면서 반응용액과 산화용액의 평균 pH 값을 7.5~7.6으로 조절하였다.

마이크로볼로미터 응용을 위해 장파장 (8~15 μm) 영역의 적외선을 흡수할 수 있는 흡수 층으로 200 nm 두께의 SiN_x가 코팅된 Si 기판을 사용하였다 [7,8]. 준비된 SiN_x/Si 기판은 절삭을 통해 가로, 세로 각각 1 inch의 크기로 제작하였고, 기판 표면에 흡착되어 있는 유기물과 불순물 등을 제거하기 위해 아세톤, 에탄올, 증류수에서 각각 10분씩 초음파 세척을 실시하였다 [7,8].

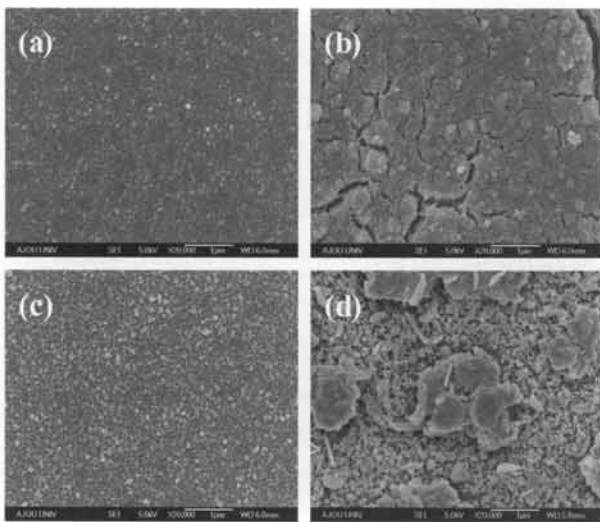


Fig. 1. SEM images of thin films deposited from $[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$) solutions for 1 and 5 min, and annealed at 400°C for 1 h in argon: (a) $x=0.1$, 1 min, (b) $x=0.1$, 5 min, (c) $x=0.15$, 1 min, and (d) $x=0.2$, 5 min.

세척된 기판 위에 준비된 반응용액과 산화용액을 동시에 스펀 스프레이 법을 이용하여 30초~7분 동안 박막을 증착하였다. 이때 기판의 온도는 상온, 기판의 회전속도는 200 rpm, 반응용액과 산화용액의 유속은 각각 1.0 L/h와 1.6 L/h이었다. 증착된 박막은 Ar 분위기에서 400°C 에서 1시간 동안 열처리한 후 냉각하였다.

열처리한 박막의 결정립 크기 및 두께를 관찰하고, 성분 분석을 하기 위해서 표면 및 단면에 대하여 주사전자현미경/에너지분산분광기(SEM/EDS, JSM-6700F, Jeol, Japan)를 이용하여 미세구조를 관찰하였다. 열처리 후의 생성물 및 미반응 물질의 존재 여부를 확인하고, 존재상 변화를 관찰하기 위하여 X-선 회절(XRD, D/Max-3C, Rigaku, Japan) 분석을 행하였다. 열처리한 박막의 상온 비저항(resistivity)과 저항온도계수(TCR)는 4 point probe (Vacuum Probe Station System, NaracellTech, Korea) 법 [9,10]으로 $25\sim 95^\circ\text{C}$ 의 온도 범위에서 측정하였다. TCR 측정 시스템은 PTC (Peltier Testing System Co., Ltd.)사에서 제작한 펠티어, Agilent사의 DMM (digital multimeter), 컨트롤러(PC), 펠티어와 DMM을 제어하는 프로그램(Keysight VEE Pro 9.3)으로 구성되어 있다. 펠티어는 프로그래밍된 온도 프로파일에

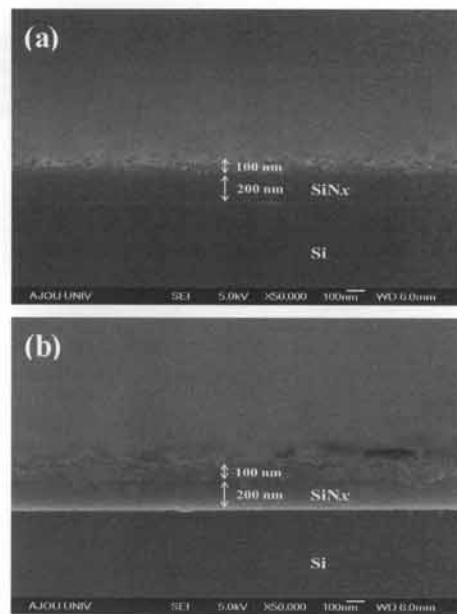


Fig. 2. Cross-sectional SEM images of thin films deposited from $[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.23}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ ($x=0.1, 0.15$) solutions for 1 min, and annealed at 400°C for 1 h in argon: (a) $x=0.1$ and (b) $x=0.15$.

의해 동작을 하며 특정 온도 구간에 도달을 하면 UUT (unit undet test)의 저항을 DMM에서 측정을 하여 그 데이터를 저장하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 $[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ (NCMC, $0.1 \leq x \leq 0.2$) 용액을 1분과 5분 동안 증착하고, Ar 분위기에서 400°C 에서 1시간 동안 열처리한 박막의 미세구조 사진을 나타낸 것이다. Cu 함량과 상관없이, 1분 동안 증착한 박막(그림 1(a), 1(c))이 5분 동안 증착한 박막(그림 1(b), 1(d))보다 더 균일하고 양호한 막을 얻을 수 있었으며, 동일한 증착시간에 대해서 Cu 함량이 증가할수록 결정립 크기가 증가함을 확인할 수 있었다.

그림 2에 Cu 함량(x)이 0.1과 0.15인 NCMC 용액을 1분 동안 증착 후 열처리한 박막의 단면을 나타내었다. 200 nm 두께의 SiN_x 가 코팅된 Si 기판위에 약 100 nm 두께의 균일한 박막을 얻을 수 있었으며, $x=0.15$ 인 박막(그림 2(b))이 $x=0.1$ 인 박막(그림 2(a))보다 결정립 크기가 더 컸다.

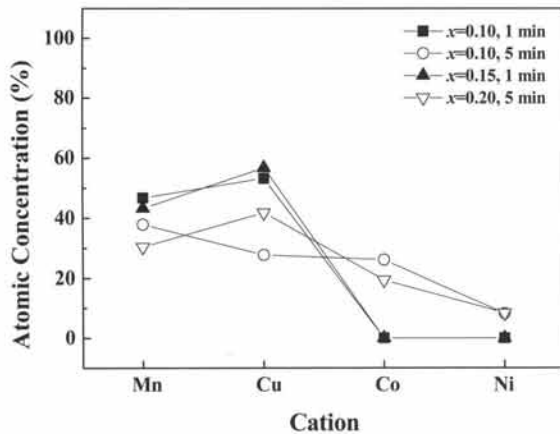


Fig. 3. Atomic concentrations of thin films deposited from $[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$) solutions for 1 and 5 min, and annealed at 400°C for 1 h in argon.

또한, 증착된 박막 층과 SiN_x 층 사이에 기공 및 박리 (delamination)와 같은 결함과 이온들의 확산은 확인할 수 없었다. 그림 2에 나타나지 않았지만, 5분 동안 증착한 박막에 대해서 $x=0.1$ 인 박막은 400 nm 의 막 두께를 나타내었고, $x=0.2$ 인 박막은 $2\ \mu\text{m}$ 의 두꺼운 막 두께를 나타내었다. 이와 같이 동일한 증착 시간에 대해서 다른 막 두께를 나타낸 이유는 1분 동안 증착한 박막의 경우 ($x=0.1$, $x=0.15$), x 값 차이 (0.05)가 크지 않고 증착시간이 매우 짧기 때문에 유사한 100 nm 의 얇은 막 두께를 나타낸 반면, 5분 동안 증착한 박막의 경우 ($x=0.1$, $x=0.2$), x 값 차이 (0.1)가 두 배로 증가하였고 증착시간 또한 5분으로 증가하였기 때문에 막 두께가 400 nm 와 $2\ \mu\text{m}$ 로 크게 증가하였으며, 그 차이 또한 증가하였다.

그림 3은 NCMC ($0.1 \leq x \leq 0.2$) 용액을 1분과 5분 동안 증착 후 열처리한 박막의 양이온 농도를 EDS 분석 결과로부터 나타낸 것이다. 1분 동안 증착한 박막의 경우, Mn과 Cu만 검출되었고, Co와 Ni는 검출되지 않은 반면, 5분 동안 증착한 박막의 경우, 상대적으로 Mn과 Cu의 농도가 감소하였지만 Co와 Ni는 10% 이상 검출되었다. 이와 같은 결과는 1분의 짧은 시간 동안 증착한 박막의 경우, 막의 두께가 약 100 nm (그림 2)로 매우 얇기 때문에 소량의 Co와 Ni는 검출이 되지 않은 것으로 판단된다. 또한, 동일한 시간 동안 증착한 박막에 대해서 Cu 함량(x)이 증가할수록 검출된 Cu 농도는 증가한 반면, Mn 농도는 상대적으로 감소하였다. 처음 칭량할 때 NCMC 조성비를

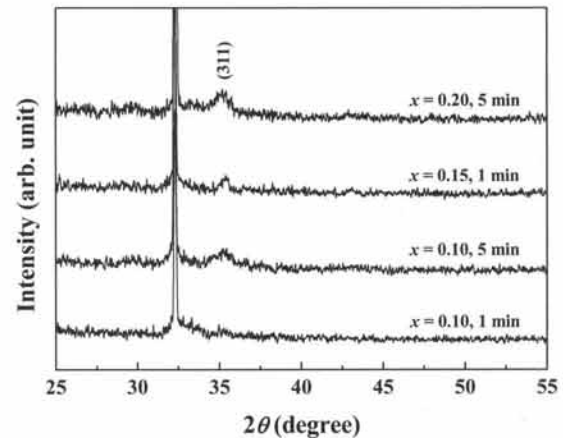


Fig. 4. XRD patterns of thin films deposited from $[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$) solutions for 1 and 5 min, and annealed at 400°C for 1 h in argon.

살펴보면 Cu 함량이 Ni, Co, Mn 함량보다 상대적으로 적었는데, 성분 분석 결과 Cu가 가장 많이 증착된 것을 확인할 수 있었다.

그림 4에 NCMC ($0.1 \leq x \leq 0.2$) 용액을 1분과 5분 동안 증착 후 열처리한 박막의 X-선 회절 (XRD) 분석 결과를 나타내었다. 전체적으로 결정 피크의 강도가 약하였지만, 입방정 (cubic) 구조의 스피넬 (spinel) 단일상 (JCPDS #84-0542)의 주 피크인 (311)면을 확인할 수 있었고, Cu 함량(x)과 증착시간이 증가할수록 (311)면의 피크는 증가하였다. $2\theta=32^\circ$ 부근의 피크는 Si 기판의 피크이다.

그림 5는 NCMC ($0.1 \leq x \leq 0.2$) 용액을 1분과 5분 동안 증착 후 열처리한 박막의 비저항을 나타낸 것이다. 측정 온도가 증가할수록 박막의 비저항은 감소하였는데, 1분 동안 증착한 박막이 5분 동안 증착한 박막보다 감소폭이 더 작았다. 1분 동안 증착한 박막에 대해서 $x=0.15$ 인 박막이 $x=0.1$ 인 박막보다 낮은 상온 비저항 값을 나타내었는데, 이는 미세구조에서 확인하였듯이(그림 1과 2), $x=0.15$ 인 박막이 $x=0.1$ 인 박막보다 결정립 크기가 더 크기 때문에 비표면적의 감소로 인한 계면에서의 저항이 더 작기 때문으로 판단된다. 반면에, 5분 동안 증착한 박막에서는 $x=0.2$ 인 박막이 $x=0.1$ 인 박막보다 높은 상온 비저항 값을 나타내었다. 이는 1분 동안 증착한 박막의 Cu 함량에 따른 결과와 반대 결과로, 1분 동안 증착한 박막은 유사한 100 nm 의 결함이 없는 얇고 균질한 미세구조를 가지기 때문에 결정립계로 설명이 가능하나, 5분 동안

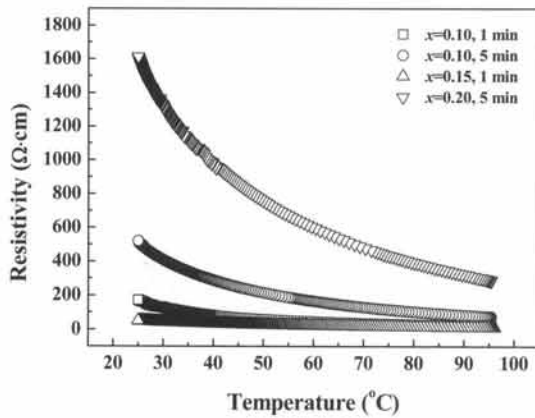


Fig. 5. Resistivities of thin films deposited from $[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$) solutions for 1 and 5 min, and annealed at 400°C for 1 h in argon.

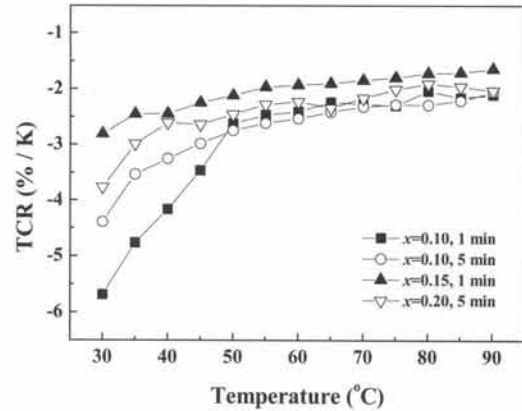


Fig. 6. Temperature coefficients of resistance (TCR) of thin films deposited from $[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$) solutions for 1 and 5 min, and annealed at 400°C for 1 h in argon.

증착한 박막은 그림 1에서 확인할 수 있듯이 막의 상태가 균질하지 못하고 균열과 기공 등의 결함이 관찰되었으며, 막의 두께도 매우 두꺼웠는데 $x=0.2$ ($2 \mu\text{m}$)인 박막이 $x=0.1$ (400 nm)인 박막보다 더 두껍기 때문에 더 많은 결함을 포함하여 $x=0.2$ 인 박막이 $x=0.1$ 인 박막보다 높은 상온 비저항 값을 나타낸 것으로 판단된다. 1분 동안 증착한 박막보다 5분 동안 증착한 박막의 비저항 값이 더 큰 이유도 막의 상태가 균질하지 못하고 균열과 기공 등의 결함 때문으로 생각된다 (그림 1과 2). 1분보다 짧은 시간 동안 증착한 박막과 $x < 0.10$ 인 박막은 막의 두께가 100 nm 미만으로 너무 얇아서 $10^7 \Omega/\text{sq}$ 이상의 표면저항 값을 나타내기 때문에 4 point probe 법으로 측정이 불가능하였고, 5분보다 긴 시간 동안 증착한 박막과 $x > 0.20$ 인 박막은 막의 두께가 $3 \mu\text{m}$ 이상으로 너무 두껍고 균열 및 기공 등 결함이 많아서 막 상태가 균질하지 못하여 측정할 수 없었다. 즉, 증착시간과 Cu 함량이 증가할수록 막의 두께는 증가하였고, 그에 따라 불균일한 막 상태를 나타내었다. 본 연구에서 비저항을 측정할 수 있는 증착시간은 1~5분이었고, Cu 함량 범위는 $x=0.1 \sim 0.2$ 이었다.

그림 6은 NCMC ($0.1 \leq x \leq 0.2$) 용액을 1분과 5분 동안 증착 후 열처리한 박막의 저항온도계수(TCR)를 측정온도 변화에 따라 나타낸 것이다. TCR 값은 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$\text{TCR} (\%/K) = (R_{T_2} - R_{T_1}) / (T_2 - T_1) \times (1/R_T) \times 100 \quad (1)$$

여기서 T , T_1 , T_2 는 온도이며 ($T_1 < T < T_2$), R_T , R_{T_1} , R_{T_2} 는 각각 T , T_1 , T_2 에서의 비저항 값이다. 측정온도가 증가함에 따라 박막의 TCR은 증가하였고, 동일한 측정온도에 대해서 $x=0.15$ 용액을 1분 동안 증착한 박막이 다른 박막들보다 가장 낮은 음의 TCR 값을 나타내었다. 동일한 증착시간에 대해서 $x=0.15$ (1분)와 $x=0.2$ (5분)인 박막들이 $x=0.1$ (1분)과 $x=0.1$ (5분)인 박막들보다 각각 더 낮은 음의 TCR 값을 나타내었다. 이와 같은 결과는 Cu 함량이 증가함에 따라 비록 높은 결정상을 갖지만 (그림 4), 막 두께 증가와 불균일한 막 상태 때문으로 판단된다.

동일한 Cu 함량에 대해서 ($x=0.1$) 증착시간이 5분인 박막과 1분인 박막의 TCR 값은 50°C 이상에서는 유사하였지만, 50°C 이하의 온도에서는 1분인 박막이 5분인 박막보다 더 높은 음의 TCR 값을 나타내었다. 50°C 이상에서의 유사한 TCR 값은 유사한 막 두께 때문으로 판단되며 (그림 2), 50°C 이하의 온도에서 TCR 값 차이는 온도 변화에 따른 비저항 값 차이 때문으로 생각되나 (그림 5), 더 자세한 이유는 현재 조사 중에 있다.

전체적으로 30°C 에서 약 $-3\%/K$, 90°C 에서는 약 $-2\%/K$ 부근의 TCR 값을 나타내었다. 특히, 50°C 이하의 온도에서 $x=0.1, 0.2$ 인 박막은 $-3\%/K$ 이상의 높은 음의 TCR 값을 나타내었는데, 이 값은 Ko 등 [6]이 보고한 값 ($< -4\%/K$)보다 우수한 값으로 마이크로 볼로미터에 응용 가능할 것으로 판단된다.

4. 결론

$[(\text{Ni}_{0.30}\text{Co}_{0.33}\text{Mn}_{0.37})_{1-x}\text{Cu}_x]_3\text{O}_4$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$) 조성의 용액을 스핀 스프레이 법을 이용하여 1분과 5분 동안 증착 후, Ar 분위기에서 400°C에서 1시간 동안 열처리한 박막의 비저항과 TCR 값을 조사하였다.

전 조성에서 입방정 스피넬 구조의 단일상을 확인할 수 있었고, 1분 동안 증착한 박막에서 균질한 미세구조와 약 100 nm의 두께를 얻을 수 있었다. 증착 시간이 증가할수록 열처리한 박막의 비저항은 증가하였고, 1분 동안 증착한 박막에 대해서 $x=0.15$ 인 박막이 $x=0.1$ 인 박막보다 낮은 상온 비저항 값을 나타내었는데, 이는 결정립 크기의 차이에 따른 비표면적 차이 때문이다. 50°C 이하의 온도에서 $x=0.1, 0.2$ 인 박막은 $-3\%/K$ 이상의 높은 음의 TCR 값을 나타내었다. $x=0.1$ 인 용액을 1분 동안 증착 후 400°C에서 열처리한 박막의 낮은 비저항 ($127 \Omega \cdot \text{cm}$)과 높은 TCR 값 ($-5.69\%/K$)은 기존의 a-Si보다 우수한 특성으로 열화상 센서용 비냉각 마이크로볼로미터에 적용 시 낮은 잡음등가온도 차 (noise equivalent temperature difference) 확보가 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 산업핵심기술개발사업 (과제번호: 10045177, 액상공정을 이용한 열변화형 세라믹 박막 및 저온 진공 게터 기술 개발)으로 부터 지원받아 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] N. Fieldhouse, S. M. Pursel, M. W. Horn, and S. S. N. Bharadwaja, *J. Phys. D Appl. Phys.*, **42**, 055408 (2009).
- [2] X. M. Liu, H. J. Fang, and L. T. Liu, *Microelectron. J.*, **38**, 735 (2007).
- [3] D. Gutierrez, O. Peña, P. Duran, and C. Moure, *J. Eur. Ceram. Soc.*, **22**, 567 (2002).
- [4] A. Veres, J. G. Noudem, S. Fourrez, and G. Bailleul, *Solid State Sci.*, **8**, 137 (2006).
- [5] S. W. Ko, J. Li and S. Trolier-McKinstry, *Thin Solid Films*, **522**, 129 (2012).
- [6] S. W. Ko, J. Li, N. J. Podraza, E. C. Dickey, and S. Trolier-McKinstry, *J. Am. Ceram. Soc.*, **94**, 516 (2011).
- [7] K. W. Lee, C. J. Jeon, Y. H. Jeong, J. S. Yun, J. H. Nam, J. H. Cho, J. H. Paik, and J. W. Yoon, *J. KIEEME*, **27**, 226 (2014).
- [8] K. W. Lee, C. J. Jeon, Y. H. Jeong, J. S. Yun, J. H. Nam, J. H. Cho, J. H. Paik, and J. W. Yoon, *J. KIEEME*, **27**, 452 (2014).
- [9] F. M. Smits, *The Bell System Technol. J.*, **37**, 711 (1958).
- [10] S. Faÿ, U. Kroll, C. Bucher, E. Vallat-Sauvain, and A. Shah, *Sol. Energy Mater. and Sol. Cells*, **86**, 385 (2005).