

박막형 NTC 열형 센서의 제작 및 특성 평가

유미나[†] · 이문호* · 유재용**

Fabrication and characteristic of thin-film NTC thermal sensors

Mi Na Yoo[†], Moon-Ho Lee*, and Jae Yong Yu**

Abstract

Characteristics of thin-film NTC thermal sensors fabricated by micromachining technology were studied as a function of the thickness of membrane. The overall-structure of thermal sensor has a form of Au/Ti/NTC/SiO_x/Si(100). NTC film of Mn_{1.5}CoNi_{0.5}O₄ with 0.5 μm in thickness was deposited on SiO_x layer (1.2 μm) by PLD (pulsed laser deposition) and annealed at 873-1073 K in air for 1 hour. Au(200 nm)/Ti(100 nm) electrode was coated on NTC film by dc sputtering. By the results of microstructure, X-ray and NTC analysis, post-annealed NTC films at 973 K for 1 hour showed the best characteristics as NTC thermal sensing film. In order to reduce the thermal mass and thermal time constant of sensor, the sensing element was built-up on a thin membrane with the thickness of 20-65 μm. Sensors with thin sensing membrane showed the good detecting characteristics.

Key Words : thin-film, NTC(Negative Temperature Coefficient), membrane

1. 서 론

열형 센서는 적외선과 적외선의 크기, 온도, 움직인 방향과 속력, 복사열 및 파장을 측정할 수 있다^{1,2}. 이러한 특성 때문에, 열형 센서를 하나의 소자 혹은 멀티 어레이 소자를 사용하여 많은 영역에서 응용을 하고 있다. 단 한 개의 소자로 사용하는 경우 침입자 경보용, 화재 경보용, 오염 감시용, 화학적인 분석, 레이저 감지 및 열 기록 등에 응용 할 수 있다¹⁻³.

또한, 멤브레인(membrane)으로 형성된 실리콘 웨이퍼 위에 박막들을 집적시킨 열형센서는 열복사를 측정하는데 사용할 수 있다^{3,4}.

열형센서 재료 중의 하나인 볼로미터(bolometer)는 표면에 흡수된 적외선에 의해 상승된 온도를 멤브레인의 온도 변화 값을 측정하는 기본적인 서미스터(thermistor) 감지기이다. 이러한 온도 증가는 서미스터의 저항을 변화시키며, 저항의 변화값은 전압 혹은 전류의

신호로 바뀌어서 측정하게 된다⁵⁻⁸.

서미스터 재료는 망간, 코발트 및 니켈과 같은 천이 금속으로 구성된 산화물로 전기 저항이 온도가 증가함에 따라 크게 감소하기 때문에 부온도계수(NTC) 서미스터로 널리 사용된다. 이 재료는 스피넬형 결정구조를 가진다. 미소의 온도 변화를 감지하기 위하여, 웨이퍼는 외부 환경으로부터 격리되어야 한다. 마이크로머시닝기술을 이용한 멤브레인 구조에 의해서 고립된 환경을 형성할 수 있다.

본 연구에서는, 열형 센서를 NTC 서미스터 재료를 사용하여 박막 센서를 제작하였으며, 마이크로머시닝 기술을 이용하여 멤브레인을 형성하여 보다 작은 박막형 열형센서를 제작하고자 하였다.

2. 실험 방법

열형 센서는 Au/Ti/NTC/SiO_x/Si(100) 구조를 가지며, 그림 1에 전체적인 구조를 나타내었다. 실리콘 산화막의 두께는 1.2 μm로 (100) 실리콘 웨이퍼(두께 : 546 μm)에 습식 산화법으로 1050 °C에서 4시간동안 산화시켰다. NTC(Mn_{1.5}CoNi_{0.5}O₄) 박막은 온도가 300 °C, 산소 분압(Po₂)이 40 mTorr에서 실리콘 산화막 위에

영남대학교 평생교육원(Yeungnam University, Lifelong Education Center)

*영남대학교 신소재공학부(Yeungnam University, Department of Materials Science and Engineering)

**대구미래대학 자동차과(Daegu Mirae College, Department of Automobile)

[†]Corresponding author: minay@paran.com

(Received : September 7, 2005, Accepted : November 2, 2005)

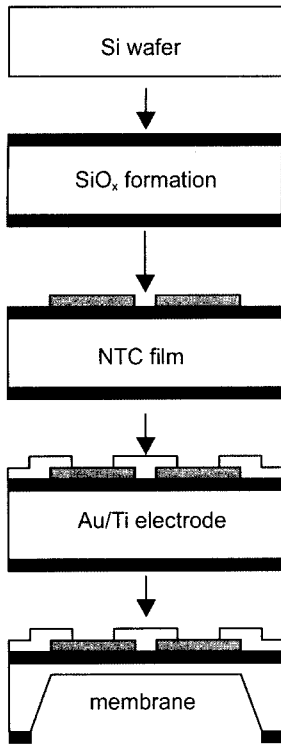


그림 1. 적외선센서 소자의 전체적인 도식도
Fig. 1. Schematic flow diagram for the preparation of device.

0.5 μm 두께로 PLD(Pulsed Laser Deposition) 장비를 사용하여 증착하였다. 안정된 NTC 박막을 준비하기 위하여, 증착한 박막을 대기 중에 600, 700 및 800 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도에서 1시간동안 열처리하였다. 열형센서의 소자로 사용한 전극은 티타늄(Ti, 100 nm)을 버퍼(buffer)로, 금(Au, 400 nm)을 사용하였으며, DC 스퍼터(sputter) 장비를 이용하여 NTC 박막 위에 증착하였다.

실리콘 가공기술에 의해서 두께가 20-65 μm 멤브레인을 제작하였다. 제작되어진 센서 소자는 TO-5 패키지를 사용하여 패키징 하였다. 25-85 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도 범위에서 $\text{Mn}_{1.5}\text{CoNi}_{0.5}\text{O}_4$ NTC 박막의 특성을 TCR 측정 장비에 의해 측정하였다. 준비된 센서의 대부분의 저항값은 2-3 $\text{M}\Omega$ 을 나타내었다. 열형 센서의 특성은 초퍼와 Merlin Unit(Oriel Co.) 장비를 사용하여 헬륨-네온 레이저에 의해 동적인 방법으로 측정하였다.

3. 결론 및 고찰

3.1. NTC 박막의 특징

그림 2는 산소 분압이 40 mTorr, 온도 300 $^{\circ}\text{C}$ 에서 증

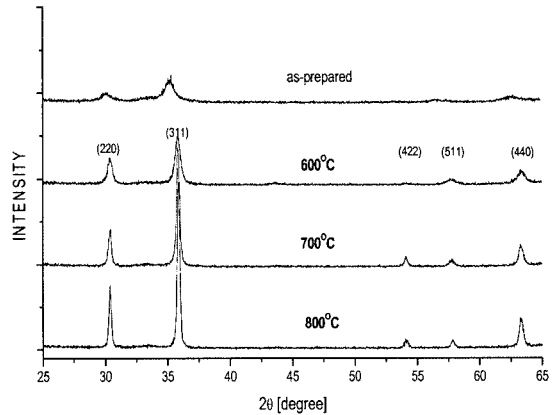


그림 2. 열처리전과 후 열처리한 NTC 박막에 대한 XRD 패턴의 변화
Fig. 2. Variations of XRD patterns for the as-prepared and post-annealed NTC thin films.

착된 NTC 박막을 600-800 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리한 시편의 XRD 분석 결과를 나타내었다. 300 $^{\circ}\text{C}$ 에서 증착한 시편에서 입방형 스피넬 상이 형성되어 있다. 열처리 온도가 증가함에 따라 입방형 스피넬 상이 완전한 결정 구조를 성장하고 있음을 확인할 수 있다. 즉 600 $^{\circ}\text{C}$ 이상에서 완전한 입방형 스피넬 상이 형성되었으며, 입방형 스피넬인 (311) 피크의 상대 강도를 2 θ 가 36 $^{\circ}$ 부근에서 분석한 결과 700 $^{\circ}\text{C}$ 에서 열처리한 시편의 상대 강도가 최대 값을 나타냈다. XRD 분석 결과로부터 열처리 온도가 증가함에 따라 그레인(grain)의 크기가 증가하였으며, 결정화(crystallization)가 형성되는 것을 측정하였다.

그림 3과 그림 4에서 300 $^{\circ}\text{C}$ 에서 증착한 시편과 후 열처리한 시편을 주사 전자 현미경(SEM)을 사용하여 입자(grain) 크기의 변화를 측정하였다.

후 열처리한 시편의 입자 크기 및 박막의 밀도가 열처리 온도가 증가함에 따라 증가하였다. 기판 온도가 300 $^{\circ}\text{C}$ 에서 증착한 박막이 열처리 온도가 증가함에 따라 구형화된 그레인이 점점 성장하고 있음을 보여준다. 이는 열처리 온도가 600-700 $^{\circ}\text{C}$ 에서 결정립이 성장하기에 충분한 에너지를 가지므로 미세한 결정립들이 균일하게 성장하며 결정화를 촉진시켜 그레인의 크기가 증가하였고, 좀 더 치밀한 박막이 형성되었으리라 사료된다. 열처리 온도가 800 $^{\circ}\text{C}$ 의 경우는 그레인의 크기가 증가한 반면에 그레인의 크기가 균일하지 않았으며, 다소 원주형(columnar)의 그레인과 구형화된 그레인이 함께 성장한 것이 보여진다^[6,10,11].

그림 5는 300 $^{\circ}\text{C}$ 에서 증착한 시편과 열처리한 시편

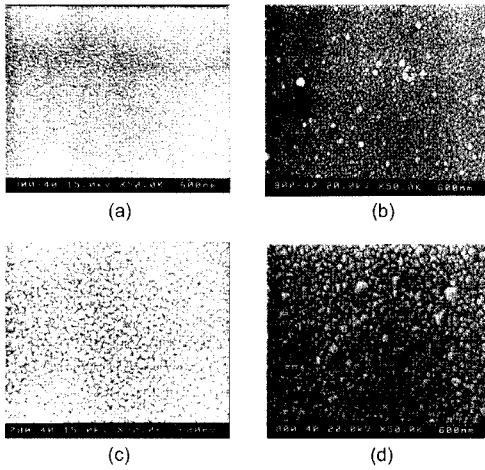


그림 3. 열처리전과 후의 NTC 박막에 대한 SEM 사진; (a) as-prepared, (b) 600 °C, (c) 700 °C and (d) 800 °C
 Fig. 3. SEM for the as-prepared and post-annealed NTC thin films; (a) as-prepared, (b) 600 °C, (c) 700 °C, and (d) 800 °C.

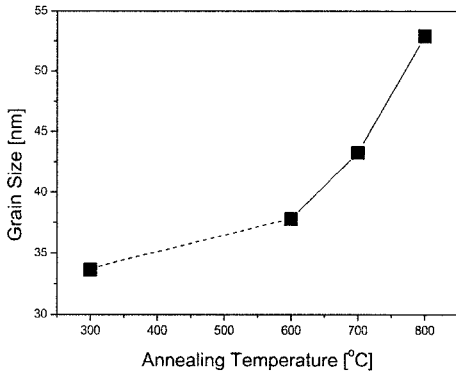


그림 4. 열처리 온도에 따른 그래인 크기의 변화
 Fig. 4. Variations of grain size with post-annealed temperature.

의 온도가 증가에 따른 저항의 변화 값을 보여준다. 모든 시편에서 NTC 박막의 특성 잘 보여주고 있다. 대수 비저항 값($\ln \rho$)은 역 온도 함수($1/T$)에 선형적인 값을 나타내고 있으며, 300 °C에 증착한 시편은 가장 높은 비저항 값을 보여준다.

그림 6은 그림 5로부터 얻은 실온에서 B값과 비저항 값의 변화를 보여준다. 이 두 값 모두는 볼로미터의 응용에 있어서 적절한 값을 나타내며, 특히, 700 °C에서 열처리한 박막은 가장 낮은 B 값과 비저항 값을 나타내었다. 따라서 이 박막을 NTC 열형 센서의 감지 박막으로 선택하였다.

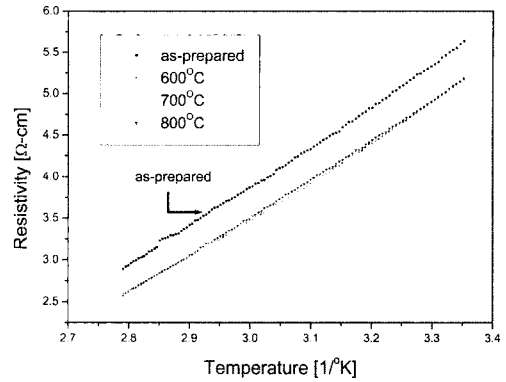


그림 5. NTC 박막의 열처리온도에 따른 비저항 값의 변화
 Fig. 5. Variations of resistivity with temperature for NTC thin films annealed at 600-800 °C for 1 h.

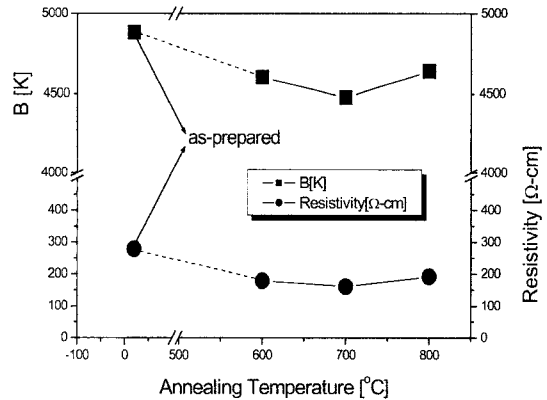


그림 6. 열처리 온도에 따른 B 값과 비저항 값의 변화
 Fig. 6. Variations of B and resistivity with annealing temperature.

3.2. NTC 박막 열형 센서의 특징

일반적으로, 열형센서는 온도 동요, 기계적인 진동, 전자기적 간섭 및 응력 등과 같은 환경에 의해서 원치 않는 출력(noise)을 나타낸다. 본 연구에서, 모든 센서들은 불필요한 출력 신호(노이즈)를 제거하기 위하여 연속적인 보상 감지 소자로 구성되어 있다.

그림 7에 나타난 것처럼, 감지 막의 전체적인 형상은 두개의 NTC 박막이 연속적으로 연결되어있다. 이 감지 박막은, TO-5 패키지(head 및 can), AR 코팅된 실리콘 창(Si-window)과 NTC 열형 센서로 구성되었고, 질소 가스 분위기 아래에서 가공되었다. 따라서 센서의 내부 공간은 질소 가스로 가득 차 있으므로, 열 요동에 의한 노이즈를 줄일 수 있다.

그림 8은 제조된 열형센서의 전체적인 외형을 나타

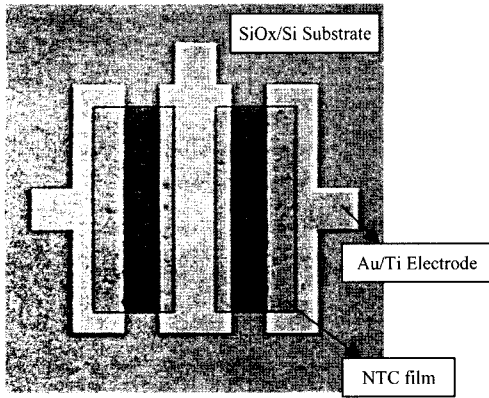


그림 7. 감지소자의 전체적인 형상
Fig. 7. Overall feature of sensing membrane.

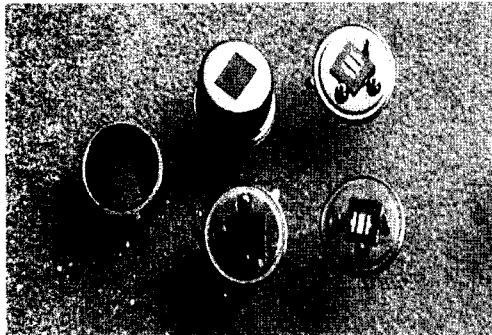
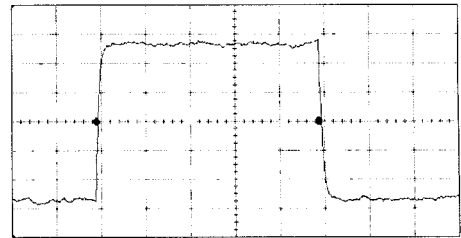


그림 8. 제작된 열형센서의 패키지 된 형상
Fig. 8. Overview of manufactured thermal sensor with TO-5 package.

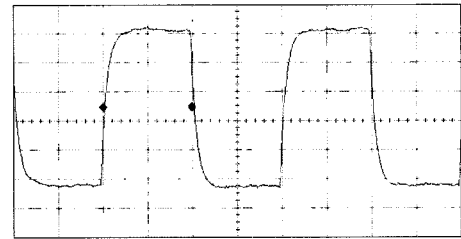
내었다. R-bridge 회로에 의해서 얻어진 전압을 출력 신호로써 사용하였다.

그림 9는 두께가 20 μm 인 멤브레인으로 만들어진 센서의 초핑 주파수에 따른 출력파형의 의존도를 보여 주고 있다. 초핑 주파수가 0.1 Hz일 때, 출력전압은 열적인 드리프트(drift)를 포함한 작은 노이즈를 가진 사각파형을 보여준다. 초핑 주파수가 증가함에 따라, 출력 전압의 형상은 사각파형에서 부드럽고 정밀한 삼각파형으로 변화하였다.

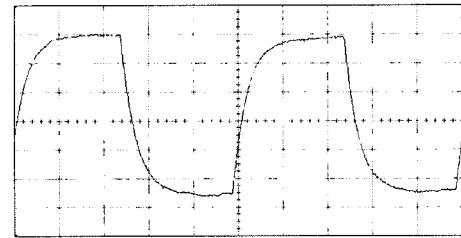
이런 형상들로부터, 초핑 주파수와 센서의 멤브레인 두께에 따른 V_{p-p} (peak-to-peak voltage) 값과 상승/하강시간의 변화 값을 얻을 수 있다. 그림 10에서 보이는 바와 같이, 멤브레인의 두께가 20-65 μm 의 범위에서, V_{p-p} 값은 멤브레인의 두께가 증가함에 따라 감소하였다. 멤브레인의 두께가 증가함에 따라 열적인 고립 현상은 나빠졌으며 이로 인해 낮은 출력신호를 얻었다.



(a)



(b)



(c)

그림 9. 초핑 주파수에 따른 출력파형; (a) 0.1 Hz, (b) 0.5 Hz, (c) 1.0 Hz.

Fig. 9. Output waveforms for NTC thermal sensor with TO-5 package, measured at (a) 0.1 Hz, (b) 0.5 Hz, and (c) 1.0 Hz.

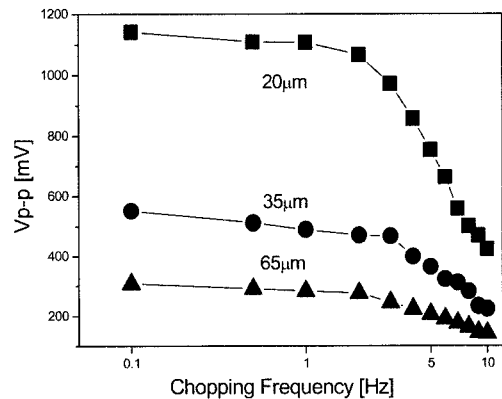


그림 10. 멤브레인의 두께가 20, 35 및 65 μm 의 범위일 때 V_{p-p} 값의 변화

Fig. 10. Variations of V_{p-p} with chopping frequency for NTC thermal sensors with membrane thickness of 20, 35, and 65 μm .

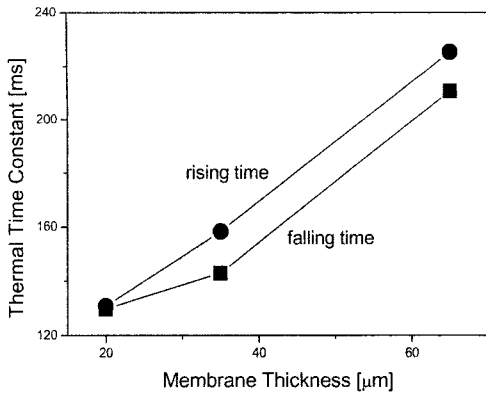


그림 11. NTC 열형 센서의 멤브레인 두께에 따른 열시정수의 변화

Fig. 11. Variations of thermal time constants with membrane thickness for the NTC thermal sensors.

Vp-p 값은 초핑 주파수가 3 Hz 이하의 범위에서 연속적인 값을 나타내었으나, 초핑 주파수가 증가함에 따라 감소하였다. 이러한 현상은 소자의 큰 열용량에 의해서 나타난다. 왜냐하면 큰 열용량은 큰 열시정수 값을 가지기 때문이다.

그림 11은 멤브레인 두께에 따른 상승/하강 시간의 변화를 보여준다. 시정수가 멤브레인 두께가 증가함에 따라서 감지부분의 열용량 C_T 가 증가하고 열전도율 G_T 는 감소한다. 따라서 열시정수 $\tau_T = C_T/G_T$ 는 증가하였다.

센서로 응용함에 있어서 가장 중요한 인자 중의 하나가 신호 대 노이즈(S/N) 비이다. 이러한 S/N 비는 측정된 출력 파형으로부터 계산되어진다. 그림 12에서 나타난 것처럼, S/N 비는 멤브레인의 두께가 증가함에 따라 감소하였다. 센서의 두께가 가장 얇을수록 S/N

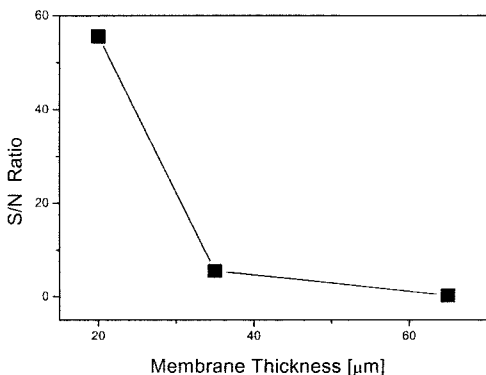


그림 12. 멤브레인 두께에 따른 S/N 비의 변화

Fig. 12. Variations of S/N ratio with membrane thickness.

비의 값이 가장 크게 나타났으며, 이는 열시정수가 멤브레인(membrane)의 두께가 감소함에 따라 증가하였기 때문이다.

뛰어나고 우수한 감지력을 가진 좋은 열형 센서를 얻기 위하여, 더 정밀한 마이크로 기계 가공 기술을 이용하여 더 얇은 멤브레인을 형성하는 것이 필요하다고 사료되어진다.

4. 결 론

PLD에 의해 증착된 NTC 박막을 700 °C에서 1시간 동안 열처리한 시편에서, 결정화되고 우수한 NTC $Mn_{1.5}CoNi_{0.5}O_4$ 박막을 얻었다. 그리고 이 NTC 박막으로 제작된 열형센서는 적외선 검지에 사용하기 우수한 감지 특성을 나타내었다.

감지 소자의 열용량 및 열시정수를 줄이기 위해 두께가 20-65 μm인 멤브레인 위에 증착하였으며, 감지 소자의 멤브레인의 두께가 얇을수록 더 좋은 응답 속도와 출력 특성을 나타내었다. 멤브레인의 두께를 20 μm까지 제어하였을 때, 초기 저항값이 2 MΩ으로 나타났으며, 응답 속도는 적외선 입사 장치로 빛을 투과한 시간 및 차단한 시간이 수십 msec로 나타났다. 이는 기존의 초전형 센서에 비해 수십 배 가량 뛰어난 응답속도이며, 초전형 센서를 대체할 새로운 센서 소자로써 사용할 충분한 가치를 가지고 있음을 보여준다.

뛰어난 감지력을 가지는 열형센서를 얻기 위하여, 더 얇은 멤브레인과 더 정밀한 마이크로 기계 가공 기술이 요구된다.

참고 문헌

- [1] R. W. Whatmore, "Pyroelectric devices and materials", *Rep. Prog. Phys.*, vol. 49, pp. 1335-1386, 1986.
- [2] 손영수, "Fabrication of low-stress silicon nitride film for application to biochemical sensor array", *센서학회지*, 제14권, 제5호, pp. 357-361, 2005.
- [3] C. H. Lucas, "Infrared detection, some recent developments and future trends", *Sensors and Actuators A*, pp. 147-154, 1991.
- [4] 임기식, 은덕수, 공성호, 신장규, 이정현, "Fabrication of a polymerase chain reaction microrreaction using infrared heating", *센서학회지*, 제14권, 제5호, pp. 337-342, 2005.
- [5] P. T. Lai and Bin Li, "Spreading-resistance temperature sensor on silicon-on-insulator", *IEEE Elect. Dev. Lett.*, vol. 20, pp. 589-591, 1999.
- [6] T. Yokoyama, "Preparation and electrical properties

- of monophasic cubic spinel”, *J. Mat. Sci.*, vol. 30, pp. 1845-1848, 1995.
- [7] S. Baliga and A. L. Jain, “Sputter deposition and characterization of Ni-Mn-O and Ni-Co-Mn-O spinel on polyimide and glass substrates”, *App. Phys.*, vol. 50, pp. 473-477, 1990.
- [8] A. Dziedzic, J. Golonka, and H. Kozłowski, “Thick-film resistive temperature sensors”, *Meas. Sci. Technol.*, vol. 8, pp. 78-85, 1996.
- [9] H. Jerominek, F. Picard, and R. Swart, “Micromachined, uncooled, VO-based, IR bolometer arrays”, *SPIE*, vol. 2746, pp. 60-64, 1996.
- [10] T. Yokoyama, K. Kondou, K. komeya, T. Meguro, Y. Abe, and T. Sasamoto, “Preparation and electrical properties of monophasic cubic spinel, $Mn_{1.5}Co_{0.95}Ni_{0.55}O_4$, derived from rock salt type oxide”, *J. Mater. Sci.*, vol. 30, pp. 1845-1848, 1995.
- [11] T. Meguro, T. Sasamoto, T. Yokoyama, M. takiyama, Y. Abe, and N. Torikai, “Sinterability and complex impedance properties of Mn-Co-Ni oxides prepared from nitrates and sulfates”, *J. Ceram. Soc. Jpn. Ed.*, vol. 96, pp. 888-983, 1988.



유 미 나 (Mi-Na Yoo)

- 1995년 경북대학교 천문기상학과 졸업 (이학사)
- 1998년 영남대학교 금속공학과 졸업 (공학석사)
- 2002년 영남대학교 센서 및 시스템공학과 졸업(공학박사)
- 현재 영남대학교 평생교육원 교수부장
- 주관심분야 : 센서재료, 마이크로머시닝, MEMS, 박막



이 문 호 (Moon-Ho Lee)

- 1976년 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1978년 한국과학기술원 재료공학과 졸업 (공학석사)
- 1981년 한국과학기술원 재료공학과 졸업 (공학박사)
- 현재 영남대학교 신소재공학부 교수
- 주관심분야 : 센서재료, MEMS, 수맥



유 재 용 (Jae-Yong You)

- 1990년 영남대학교 기계공학과 졸업 (공학사)
- 1992년 영남대학교 기계공학과 졸업 (공학석사)
- 1981년 영남대학교 기계공학과 졸업 (공학박사)
- 현재 대구 미래대학 CAD/CAM과 교수
- 주관심분야 : 자동차센서, MEMS