SnO2를 이용한 CO 및 NOx 가스 감지 센서 제작 및 특성 연구

김 만 재¹⁾ · 이 유 진²⁾ · 안 효 진²⁾ · 이 상 훈^{*1,3)}

서울과학기술대학교 산업대학원 자동차공학과¹⁾·서울과학기술대학교 신소재공학과²⁾· 서울과학기술대학교 기계·자동차공학과³⁾

Fabrication and Evaluation of the SnO₂ Based Gas Sensor for CO and NOx Detection

Man Jae Kim¹ • Yu-Jin Lee² • Hyo-Jin Ahn² • Sang Hoon Lee^{*1,3)}

¹⁾Department of Automotive Engineering, Graduate School of Industry, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea

²⁾Department of Materials Science and Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea

³⁾Department of Mechanical and Automotive Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, Korea

(Received 17 February 2015 / Revised 8 May 2015 / Accepted 13 May 2015)

Abstract : In this paper, we fabricated and evaluated the gas sensor for the detection of CO gas and NO_x gas among the vehicle exhaust emission gasses. The SnO₂ (tin dioxide) layer is used as the detection material, and the thin-film type and the nano-fiber type layers are deposited with various thicknesses using sputtering method and electro spinning method, respectively. The experiments are performed in the chamber where the gas concentration is controlled with mass flow controller. The fabricated devices are applied to the CO and NO_x gas, where the device with the thinner SnO₂ layer shows better sensitivity. The nano-fiber has the larger surface area, and the shorter response time and recovery time are obtained. From the experimental results, both types of gas sensors successfully detect CO and NO_x gases, which can be applied to measure those gases from the vehicle emissions.

Key words : SnO₂(산화주석), CO(일산화탄소), NO_X(질소산화물), Semiconductor gas sensor(반도체가스센서), MEMS(미세전자기계시스템), Nano fiber(나노섬유), Electro spinning(전기방사)

1. 서 론

1960년대 경제개발 계획 이후 최근까지 고도성장 과 더불어 급속한 산업화가 진행되었다. 그로 인해 늘어난 공장, 발전소, 자동차 등에서 연소 후 발생되 는 오염물질로 인하여 대기오염 문제가 심각하게 대두되고 있다.¹⁾ 대기오염의 주된 오염물질은 연소 후 발생하는 SO₂(황산화물), CO(일산화탄소), HC (탄화수소), NO_x(질소산화물)등이 주된 원인이 되 고 있으며, 그 중에서도 자동차에서 발생하는 CO와 NOx이 문제가 되고 있다.²⁾ 현재 국내 자동차 등록 대수는 2014년 기준 약 2,000만대가 넘어서고 있으 며,³⁾ 국내 인구 1인당 약 0.4대를 보유하고 있는 실 정이다. 인구밀집도가 높은 대도시 내에서의 발생 하는 자동차 배출가스는 대기로 방출이 잘 이루어 지지 않고, 대기 중에 머물러 인체에 피해를 끼치고 있다. 특히, CO는 무색 무취의 가스로 산소가 부족 한 상태로 연료가 연소할 때 불완전 연소에 의해 발 생하며, CO에 장기가 노출되면 신경계통에 이상이

^{*}Corresponding author, E-mail: hyla@seoultech.ac.kr

오거나, 심한 경우 사망에까지 이르게 된다. NO_X 또 한 CO와 동일한 특성을 지니며 연료를 고온으로 연 소하는 과정에서 발생하며, 산소결핍증과 중추신경 기능의 감퇴를 유발시키는 배출가스이다.⁴⁾ 현재 실 생활에 깊숙이 자리잡고 있는 자동차의 배출가스를 미연에 방지하기 위해서는 배출가스의 종류 및 농 도를 감지·정량할 수 있는 센서개발이 필요성이 증 대되고 있다.

가스센서의 개발의 시초는 1923년 Johnson에 의 해 촉매 연소식 센서가 처음으로 보고되었으며, 1962년에 이르러 Seiyama에 의해 금속산화물 반도 체인 SnO₂, ZnO, In₂O₃의 물질을 이용하여 공기중 의 가스 유·무와 농도를 저항값으로 변화하여 감 지하는 반도체형 가스센서가 처음으로 발표되었 다.⁵⁾ 현재까지 가스센서는 가스 감지 및 검출을 위 해서 측정방식에 따라 접촉연소식, 고체전해질, 반 도체식 등의 방법으로 연구가 진행되어 지고 있 다.⁶⁻⁸⁾ 이 중에서도 반도체식 가스센서는 가격이 저 렴하고, 센서제작이 용이하며, 다양한 범위의 가스 검출이 가능하다는 장점으로 주로 사용되어 지고 있다.

본 연구에서는 반도체형 방식을 이용하고, 높은 감도 특성 및 빠른 응답특성 감도의 재현성 그리고 화학적 안정성이 좋은 금속산화물 SnO₂를 이용하였 다. SnO₂를 모물질로 하여 스퍼터링방식과 비표면 적을 극대화 시킬 수 있는 나노섬유 형태를 전기방 사법을 이용하여 센서를 제작하고, CO와 NO_X 가스 감지 및 농도에 따른 특성을 분석하고자 하였다. 반 도체공정을 이용하여 배출가스 감지 센서를 저가로 대량생산하게 된다면, 매연의 농도를 실시간으로 감지할 수 있을 뿐 아니라, 자동차 엔진의 이상 여부 를 쉽게 판단할 수 있게 될 것이다. 또한, 2년 마다 한 번씩 검사를 받는 부분을, 수시로 확인하여 문제 가 발생하였을 시 즉각적인 대처가 이루어지도록 할 수 있으므로, 국내의 배출가스 문제를 저감하는 데 도움이 될 수 있으리라 판단된다.

2. 가스 감지 특성

반도체식 가스센서의 가스감지 특성은 피검가스 가 반도체 표면에 접촉하였을 때 표면에서 일어나 는 가스의 흡·탈착 과정에서 발생하는 전기 전도도 의 변화를 이용한다. 반도체식 금속산화물인 SnO₂ 는 300°C 정도로 가열하면 공기 중의 산소를 흡착하 게 되며, 흡착된 산소는 입자 표면으로부터 전자를 빼앗아 음전하를 띄게 된다. 따라서, 산화물 표면 근 처에 전자의 농도가 부족하게 되고, 저항값이 큰 전 자 공핍층이 많아짐에 따라 높은 전위 장벽이 발생 하게 된다. 이에 따라 전기 전도도는 감소하고 센서 의 저항을 증가시키게 된다.

이러한 상태에서 환원성가스(CO)에 노출되면, CO가 O₂와 반응하여 CO₂로 산화되고 빼앗겼던 전 자가 다시 입자내로 주입되면서 센서의 저항이 감 소하게 된다. 반대로, 산화성 가스(NO_X)의 경우 앞 선 환원성 가스와 다르게 표면에서 산화되는 것이 아니라 입자 표면에 직접 흡착하여 음전하를 띄는 산소의 농도가 증가하게 되므로, 반도체 내부의 전 자가 줄어들게 되어 표면의 전자 공핍층이 두꺼워 져 전기 전도도는 감소하게 된다. 가스감지 원리의 Fig. 1과 같이 나타내었다.

3. 가스 감지 센서 제작

본 연구에서는 CO 및 NOx가스 감지를 위해 사용 된 물질로써 SnO2를 이용하였다. SnO2를 이용하여 박막형태를 쉽게 제작할 수 있는 스퍼터링방식과 나노섬유를 비교적 쉬운 방법으로 제작이 가능한 전기방사법을 이용하여 제작하였다.

스퍼터링 방식과 전기방사법으로 SnO₂물질을 도 포하기 전 센서의 전극 형태를 형성하기 위해 반도 체공정과 MEMS공정을 이용하여 실리콘 웨이퍼 위 에 리소그래피 공정을 통하여 5mm × 5mm 크기에 전극선 20µm와 전극간극 30µm를 가지는 Comb방 식의 패턴으로 제작하였다. 공정의 모식도는 Fig. 2 와 같이 나타내었다.

3.1 SnO₂ 스퍼터링 센서 제작

SnO₂를 이용하여 가스 감지막 형성을 위해 플라 즈마 스퍼터(Sputter, SRN-110 Sorana, Korea)를 사용 하여 8 × 10⁻⁷ Torr 고진공에서 600 Å과 3000 Å의 두 가지 형태의 SnO₂ 박막을 증착하였다. 제작센서의 증착 조건은 Table 1과 같다.



Fig. 1 Detection mechanism of semiconductor type gas sensor





3.2 SnO₂ 나노섬유 센서 제작

나노섬유 제작을 위해 전기방사법을 이용하여 SnO2를 방사하여 센서를 제작하였다. 방사하기전

T 1 1		D	11.1			
Table		Deposition	conditions	1n	spuffering	process
14010	•	Deposition	eonantiono		opercering	p1000000

-		
Target	SnO ₂	
Substrate	SiO ₂ / Si wafer	
Base pressure	8.0×10^{-7} Torr	
Process pressure	5 mTorr	
Power	RF 300W	
Cas flow	Ar - 80sccm	
Gas now	purity 99.999%	
Deposition time	620 sec	
Deposition time	Deposition Rate : 0.98 Å/sec	

방사용액의 전구체로 Tin(II) (chloride dihydrate-SnCl₂·2H₂O ALDRICH 99.9%)를 사용하고, 용매 (Solvent)로는 SIGMA-ALDRICH사의 DMF(N,N-Dimethylformamide HCON(CH₃)₂ 99%)를 사용하였다. 전 기방사를 위해서는 용액이 일정 점도 이상을 가져 야하고, 이를 위해서 방사용액의 점도를 높이기 위 해고분자를 첨가하였다. 첨가물질은 PVP(Polyvinylpyrrolidone (C₆H₉NO)_N ALDRICH, M_W = 1,300,000 g/mol)을 사용하였으며, 물질의 중량비를 Table 2에 나타내었다.

Material	Solution	Polymer	
SnCl ₂ •2H ₂ O Tin(II) chloride dihydrate	DMF N, N- Dimethylformamide HCON(CH ₃) ₂	PVP Polyvinylpyrrolidone (C ₆ H ₉ NO) _N	
0.2 g	2 ml	0.2 g	

Table 2 Component of electrospinning solution

Table 3 Deposition conditions in electrospinning process

Specification	Value
Ejection rate	0.02 mℓ/h
Distance between nozzle and collector	15 cm
Voltage	16 kV
Temperature	25°C
Humidity	20%

준비된 용액을 이용하여 나노섬유를 제작하기 위 해 방사 조건은 Table 3과 같이 진행하였고, 아래의 동일한 방사 조건에서 2분간 1회 방사 후 분당 5°C 의 승온 속도로 500°C에서 5시간 열처리하는 공정 을 각각 2회 그리고 5회로 진행하여 두가지 형태의 SnO₂ 나노섬유를 제작하였다.

3.3 스퍼터링센서와 나노섬유센서의 열처리

스퍼터링 방식과 전기방사법으로 제작된 SnO₂ 는, 제작 후 열처리를 통해 안정적인 결정구조를 만 들게 된다. 앞에서 언급한 바와 같이, 일반적으로 알 려진 SnO₂의 동작온도는 300°C 내외이다.⁹⁾ 적절한 온도에서 작동하기 위해서는 이러한 온도 부근에서 작동을 해야 하며, 자동차의 배출가스의 평균온도 또한 이와 비슷한 250 ~ 350°C 수준으로 알려져 있 다.¹⁰⁾ 그러나 실제 차량에서 발생되는 배기가스는 매연저감장치와 소음기를 거치면서 온도가 낮아지 게 되므로, 온도가 많이 떨어지지 않는 부분에서 측 정하는 것이 좋다고 판단된다. 특히, 현재 교통안전 공단에서 실지하는 검사방법에서와 같이,¹¹⁾ 실제 밖 으로 배출되는 가스를 측정하는 것이 좋으므로, 매 연저감장치 뒷부분에서 감지를 하는 것이 좋을 것 으로 판단된다.

따라서, 이 경우 배기가스의 온도가 350°C 수준 까지 올라갈 수 있으므로, 만약 센서를 그 이하의 온 도에서 열처리할 경우, 측정시 열처리 온도를 넘어 갈 수 있다. 이로 인해, 결정구조가 재배열되고 가스 감도가 현저히 떨어지게 되는 현상이 발생될 수 있 다. 이를 방지하기 위해, 평균온도를 감안하여 센서 의 열처리를 400, 500, 600°C에서 각각 진행하였다. 앞서 설명한 바와 같이, 센서의 열처리 온도가 배출 가스의 작동온도보다 높기 때문에 물질의 재배열현 상이 발생하지 않고 배출가스 감지 특성에 문제가 없을 것으로 사료된다.

4. 실험 장비 구성 및 방법

실험에서 사용된 가스로 CO (CO 30ppm, air balance) 와 NO₂ (NO 1000ppm, N₂ balance)를 사용하였고, 가 스주입 후 가스환원을 위해서 일반 에어가스와 질 소가스를 사용하였다. 정확한 가스의 농도를 주입 하기 위해 유량계(MFC Korea, TSC-210)와 콘트롤 러(MFC Korea, MPR-3000)를 이용하여 정밀하게 조 절하여 주입하였다. 일반적으로 SnO2가 가스를 감 지하기 위해서는 일정한 온도가 필요하다. 표면의 온도를 높이기 위해 세라믹히터를 사용하였으며, 파워서플라이(Agilent, E3649A)로 세라믹히터에 전 압을 인가하여 온도를 높여주었다. 소자표면의 정 확한 동작온도측정을 위해 열화상카메라를 이용하 여 측정하였고, 그 결과 안정적인 동작온도로 알려 진 300℃가 됨을 확인하였다. 가스주입과 환원가스 주입시 센서의 저항값 변화를 측정할 수 있도록 와 이어 본더(I&A Tech, 7476D-79)를 사용하여 소자의 전극패드와 PCB기판을 연결하였다. 가스 측정시 발생하는 저항변화는 LCR meter(Agilent 4263B)를 이용하여 측정하였으며 LabVIEW 프로그램을 이용 하여 데이터를 실시간으로 수집하여 가스감지 측정 실험을 진행하였다. 스퍼터링센서와 나노섬유센서의 가스감지를 위한 전체적인 실험장비 구성은 Fig. 3 과 같이 구성하였다.

5. 실험 결과

5.1 스퍼터링센서와 나노섬유센서의 특성 분석

각 제작된 센서의 열처리 온도에 따른 표면의 결 정 크기 및 분포, 입자의 형태 등을 확인하기 위해 FE-SEM(Field Emission Scanning Electron Micro-



Fig. 3 Experimental setup for gas detection

scope, JSM-6700F, Jeol Ltd, Japan)과 AFM(Atomic force microscope, Dimension[™] 3100, Veeco, USA) 그 리고 X-선 회절분석기(X-Ray Diffractometer, X pert Pro, PANalytical, Netherlansds)를 사용하여 측정하 였다.

첫째 SnO₂의 결정구조를 확인하기 위해 스퍼터 링방식으로 제작된 센서를 이용하여 각 열처리 온 도 조건에서 XRD를 측정하였다. 그 결과 모든 열처 리온도 구간의 26.5°, 33.8°, 51.8°에서 (110), (101), (211) planes에 해당하는 SnO₂ phases의 결정구조 [JCPDS card No. 77-0447]를 확인할 수 있었다.

두 번째로, FE-SEM을 이용하여 제작된 센서의 표면을 확인한 결과 좌측 (a), (b), (c)열처리 온도의 조건에서 (a)에서는 표면의 박막형태의 기공이 거 의 보이지 않는 평탄한 표면을 확인할 수 있었다. (b), (c)조건에서는 (a)와 다르게 온도가 높아질수록 결정성이 커지는 것을 확인할 수 있었고, (b), (c)의 온도에서는 크게 다른 점이 보이지 않는 것을 확인 할 수 있었다. 이에 조금 더 정밀한 센서의 특성을 분석하기 위해 표면거칠기를 측정할 수 있는 AFM 을 이용하여 센서 중심의 3개의 포인트를 찍어 평균 값으로 산출하여 측정하였다. 측정결과(a), (b)의 표 면거칠기값이 2.715와 3.042nm로 나왔으며, (c)에서 의 표면거칠기값이 3.493nm로 (c)의 조건에서의 센 서가 가장 크게 나온 결과를 바탕으로 볼 때, 가스를 감지할 수 있는 비표면적이 더 크기 때문에 가스 감 도에 영향을 줄 것으로 사료된다. 또한, 앞선 실험결 과를 바탕으로 Fig. 4에서 우측 나노섬유의 경우 기 본적으로 전기방사시 400℃부터 고분자의 기화가



Fig. 4 XRD graph of 600 Å thick sputtered SnO_2 film with respect to the annealing temperature



Fig. 5 SEM images of deposited SnO₂ layers with various heat treatment using (a) Sputtering and (b) Electro spinning processes

시작되므로 500°C 아래에서의 열처리 조건은 무의 미하다고 판단되어 진행하지 않았다. (d), (e)의 조건 에서 나노섬유의 가닥에서의 비슷한 경향을 보이고 있다는 것을 확인할 수 있었고, (f)의 경우 2회 방사 후 600°C에 열처리 한 센서이다. (e), (f)의 조건에서 는 (d)보다 표면의 나노섬유 가닥들이 더 많고 표면 의 돌기 형태가 많이 나타나는 경향을 보였다.

이러한 결과는 스퍼터링 센서에서도 600°C 열처



Fig. 6 AFM images of sputtered SnO₂ layers with various heat treatment of (a) 400°C, (b) 500°C and (c) 600°C

리 조건에서 가스 감도에 가장 좋은 특성을 나타난 바와 같이 전기방사법인 나노섬유에서도 같은 현상 을 나타내고 있다. 이에 앞으로의 실험에서는 600℃ 에서의 열처리 된 센서를 이용하여 실험을 진행하 였다.

5.2 동작온도에 따른 가스감도특성

Fig. 7은 반도체 산화물 가스센서의 가스 감도 특 성은 센서의 동작온도에 따라 감도 특성이 달라진 다. 3장에서 언급한 바와 같이 SnO₂는 300℃ 내외에 서 가스 감도 특성이 가장 좋다고 알려져 있다.⁹ 본 실험에서도 동작온도에 따른 가스 감도 특성을 확 인하기 위해 100~400℃의 동작온도를 다르게 하여 실험을 수행하였다. 그 결과 온도가 높아질수록 가 스 감도가 증가하여, 300℃에서 가장 좋은 특성을 나타내었으며, 400℃ 이후에서는 가스감도가 현저 히 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과로





부터, 가스 감도를 극대화하기 위해 300°C 정도에서 가스 측정 실험을 진행하였다.

5.3 스퍼터링센서와 나노섬유센서의 CO가스 감지 특성

Fig. 8 ~ 9는 600 Å과 3000 Å의 두께를 가진 스퍼 터링 제작센서의 CO가스 30ppm에 대한 반복특성 실험데이터이다. 30ppm에 대한 가스감도는 600 Å 의 센서가 26.96으로 3000 Å의 센서의 7.4보다 높게 도출 되었다. 이는 가스가 박막 전체에 반응하여 저



Fig. 8 Repeatability graph of fabricated gas sensor with 600 Å thick sputtered SnO₂ film



Fig. 9 Repeatability graph of fabricated gas sensor with 3000 Å thick sputtered SnO₂ film



Fig. 10 Repeatability graph of nano-fibers-based gas sensor (case of 2 times deposited nano-fibers)



Fig. 11 Repeatability graph of nano-fibers-based gas sensor (case of 5 times deposited nano-fibers)

항특성이 변하게 되는데 두께가 두꺼울수록 표면에 서부터 안쪽으로 들어가기 어렵기 때문이라 생각된다.

Fig. 10~11은 나노섬유 센서를 측정한 실험데이 터로써, 각각 2회 방사와 5회 방사한 센서이다. CO 30ppm에 대한 나노섬유 2회 센서의 감도는 10.48로 써 5회 센서의 감도 9.32보다 높게 도출되었다. 나노 섬유의 경우 스퍼터링 센서보다 두께에 따른 가스 감도 차이가 크게 나타나지 않았다. 이러한 이유로 는 나노섬유 사이에 빈 공간이 많은 만큼 두께에 따 른 차이가 크게 나지 않는 것으로 사료된다.

가스센서의 역할로는 가스 감지 특성 이외에 가 스의 정확한 농도를 측정 할 수 있어야 한다. 앞선 30ppm 반복 실험데이터에서 가스감도가 좋은 스퍼 터링 600Å센서와 나노섬유 2회 방사된 센서를 이 용하여 CO가스 30, 20, 10ppm에 대한 센서의 특성을 분석하고자 하였다. Fig. 12~13은 실험결과로써, 가 스농도가 순차적으로 줄어들수록 센서의 저항값 또 한 순차적으로 줄어드는 것을 확인할 수 있었고, 이 는 가스의 농도에 관계없이 제작된 센서가 정확한 가스농도를 감지한다고 볼 수 있다. 또한, 자동차 배



Fig. 12 CO detection properties of sputter-based gas sensor with different gas concentrations (case of sputtered SnO₂ film with 600 Å thickness)



Fig. 13 CO detection properties of nano-fiber-based gas sensor with different gas concentrations (case of 2 times deposited nano-fibers)

출가스의 농도보다 실험진행시 CO가스의 농도가 낮게 진행되었으나, 가스센서의 특성상 저농도의 가스감지가 더 어렵기 때문에, 이보다 더 높은 수준 의 CO농도에서는 가스감자기 더욱 더 잘 될 것으로 판단된다.

5.4 NO₂ 가스 감지 특성

Fig. 14 ~ 15는 앞선 실험과 마찬가지로 CO가스 감도가 좋은 스퍼터링 600 Å 센서와 나노섬유 2회 방사 제작 센서를 이용하여 NO₂ 가스 실험을 진행 한 실험 데이터이다. 데이터에서 볼 수 있듯이 NO₂ 1000ppm과 100ppm 주입 시 센서의 저항값이 순차 적으로 줄어들어 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 이론적으로 환원성 가스 접촉시 저항값이 줄 어들어야하며, 산화성 가스 접촉시 저항값이 증가 하는 경향을 나타나는데 본 실험에서도 이론과 마 찬가지로 실험결과가 도출되었다. NO₂가스 감지와 정확한 농도를 측정할 수 있는 센서로 사용이 가능 할 것으로 판단된다.



Fig. 14 NO₂ detection properties of sputter-based gas sensor with different gas concentrations (case of 600 Å thick SnO₂ film)



Fig. 15 NO₂ detection properties of nano-fiber-based gas sensor with different gas concentrations (case of 2 times deposited nano-fibers)

5.5 가스감지 응답속도 및 회복특성

Fig. 16은 스퍼터링 600 Å과 3000 Å 그리고 나노 섬유 2회방사와 5회방사의 CO가스 30ppm 응답속 도 및 회복속도를 나타낸 그래프이다. 가스감도에 서는 600 Å 나노섬유 2회방사보다 우수하였으나, 가스센서는 가스의 감도만으로 센서의 성능을 비교 할 수 없고, 반응속도와 회복속도도 고려되어야 한 다. 스퍼터링 센서의 CO 30ppm에 대한 반응속도는 384초와 회복속도 378초로 나타났으며, 나노섬유의



Fig. 16 Response and recovery times of fabricated gas sensors

522 한국자동차공학회논문집 제23권 제5호, 2015

2회 방사된 센서는 반응속도 90초와 회복속도 216 초 스퍼터링 센서보다 반응 및 회복속도가 빠르게 나타났다. 나노섬유를 이용하여 가스 감도를 높이기 위한 추후 실험이 진행되어야 할 것으로 사료된다.

6.결론

연구에서는 MEMS공정을 이용하여 백금으로 전 극을 형성하고 SnO₂를 이용하여 스퍼터링 박막형태 의 센서와 비표면적을 크게 할 수 있는 나노섬유 형 태로 제작하여 CO 및 NO₂ 가스 감응 특성을 연구한 결과 요약하면 다음과 같다.

- SnO₂ 스퍼터링 박막증착 후 열처리 온도에 따라 (110), (101), (211) planes을 갖는 SnO₂ phase의 결 정구조를 확인하였으며, AFM 측정결과 600℃ 열처리에서 표면거칠기값이 3.493mm로 가장 크 다는 것을 확인할 수 있었다.
- 2) 스퍼터링센서 600 Å과 3000 Å의 CO 30ppm가스 감도가 600 Å의 센서가 26.96으로 3000 Å의 센 서의 7.4보다는 더 좋은 특성을 보였으며, 제작센 서도 두께가 얇을수록 가스 반응 감도가 더 크게 나타내었다.
- 3) 나노섬유 2회방사와 5회방사의 CO 30ppm에 대 한 가스 감도는 2회방사가 10.48로써, 5회 방사 센서의 감도 9.32보다 높게 도출되었다. 두께에 따른 가스의 감도는 나노섬유의 표면적이 넓기 때문에 크게 차이 나지 않는 것으로 판단된다.
- 4) 스퍼터링 센서와 나노섬유 센서의 NO₂ 측정결 과 CO가스와 다른 특성인 제작센서의 저항이 증 가하였으며, 이는 CO가스와 NO₂가스의 선택성 이 확실히 구분되어지는 것을 확인하였다.
- 5) CO가스와 NO₂가스의 농도에 따라 스퍼터링 센 서와 나노섬유센서의 센서 저항값도 가스 농도 에 따라 순차적으로 저감되는 것을 확인하였다. 이는 가스농도에 정확하게 정량할 수 있는 센서 로 사용이 가능할 것으로 판단된다.
- 6) 가스센서의 가스감지만으로는 센서의 성능을 평가할 수 없고 가스 반응속도와 회복속도가 고 려되어야 한다. 스퍼터링 600 Å의 CO 30ppm의 대한 반응 속도와 회복속도는 각각 384초와 378 초로 나노섬유 2회 방사는 각각 90초와 216초로

스퍼터링 센서보다 우수하게 도출되었다.

7) 가스 감지 센서를 저렴한 가격으로 제작할 수 있고, 배출가스의 농도를 실시간으로 감지하여 즉 각적인 조취를 통해 전체적인 배출가스를 줄이 는데 도움이 될 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교 교내 일반과제 연 구비지원으로 수행되었습니다.

References

- 1) J. H. Hong, http://library.nier.go.kr/index.ax, 환 경자료집II, pp.500-501, 1999.
- S. M. Son, Fabrication and Gas-sensing Characteristics of NOx Sensors for Monitoring Air Pollutions, M. S. Thesis, The University of Seoul, Seoul, pp.1-2, 2009.
- D. J. Kim, Monthly KOTI Magazine on Transport, The Korean Transport Institute, pp.95-104, 2014.
- K. S. Kim, "Management of Cancer Risk Caused by Motor Vehicle in a Large City," The Korean Society of Environmental Toxicology, Vol.13, No.1-2, pp.27-31, 1998.
- 5) T. Seiyama, A. Kato, K. Fujiishi and M. Nagatani, "A New Detector for Gaseous Compo-

nents Using Semiconductive Thin Films," Analytical Chemistry, Vol.34, No.11, pp.1502-1503, 1962.

- M. A. Cardoso and D. Luss, "Stability of Catalytic Wires," Chemical Engineering Science, Vol.24, No.11, pp.1699-1710, 1969.
- N. Maffei and A. K. Kuriakose, "A Solid-state Potentiometric Sensor for Hydrogen Detection in Air," Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.98, No.1. pp.73-76, 2004.
- G. Faglia, P. Nelliand and G. Sberveglieri, "Frequency Effect on Highly Sensitive NO₂ Sensors Based on RGTO SnO₂(Al) Thin Film," Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.19, No.1, pp.497-499, 1994.
- 9) S. R. Kim, D. H. Yun, H. K. Hong, C. H. Kwon and K. C. LEE, "NO₂ Sensing Properties of Oxide Semiconductor Thick Films," Journal of Sensor Science and Technology, Vol.6, No.6, pp.451-457, 1997.
- 10) 국립환경과학원 교통환경연구소, 자동차 배출 가스 저감장치 인증 및 검사현황과 개선방안, http://www.nier.go.kr/NIER/EgovMovePage.d o?linkPage=/kor/kor_index, p.18, 2009.
- 11) 교통안전관리공단, 운행차 배출가스 정밀검사 시행요령 등에 관한 규정, http://www.ts2020.kr/ main.do, p.12, 2010.