

논문 95-4-3-04

Sol-gel법에 의한 Li 이온-고체 전해질의 CO₂ 가스 감지 특성

서무교*, 송갑득**, 광종식***, 이덕동**

CO₂ Gas Sensing Characteristics of Lithium Ionic Solid Electrolyte prepared by Sol-gel Method

Moo-Gyo Seo, Kap-Duk Song, Jong-Sik Kwak, Duk-Dong Lee

요 약

60°C의 질소 분위기에서 tetraethyl orthosilicate, lithium methoxide, zirconium n-propoxide 그리고 tributyl phosphate를 전구체로 써서 sol-gel법으로 Li 이온-고체 전해질을 합성하였다. 합성한 물질을 건조하고 분쇄하여, 이를 가압·성형하여 원반형 시편들을 제조하였다. 시편들을 900°C~1100°C에서 50시간 열처리하였다. 시편들의 물성을 TG/DTA, SEM, AES 및 XRD 법으로 조사하였다. Li 이온-고체 전해질을 이용한 CO₂ 가스 감지 소자를 제작하고 그 동작 특성을 측정하였다. 제작된 감지 소자 중에서 1000°C에서 열처리한 경우, 동작 온도가 200°C~300°C일 때, CO₂ 농도 변화에 대해 35~63mV/decade의 기전력 변화를 나타내었고, 300~6000ppm까지 선형성이 우수하였다.

Abstract

Lithium ionic solid electrolyte was synthesized at 60°C in N₂ ambience by sol-gel method, using tetraethyl orthosilicate, lithium methoxide, zirconium n-propoxide, and tributyle phosphate as precursors. The prepared material was dried and crushed into powder, and it was pressed into disk type samples. These samples were sintered at 900°C~1100°C for 50 hours. The physical characteristics of the samples were investigated by TG/DTA, SEM, AES and XRD methods. CO₂ sensor based on lithium ionic solid electrolyte was fabricated and its operational characteristics were measured. The sensing characteristics of the sensor sintered at 1000°C shows the variation of e.m.f. about 35~63 mV/decade for the variation of CO₂ concentration at 200°C~300°C of operating temperature, and good linearity for 300~6000 ppm.

I. 서 론

산업 사회의 급속한 발전에 따라서 석유, 석탄 등

의 화석 연료를 사용하는 산업들이 급증하여 환경오염 문제가 심각하게 대두되고 있다. 그 중에서 자동차 등과 같은 내연 기관의 사용량 증가에 따른 대기오염 문제 또한 관심의 대상이 되고 있다. 대기 중의 CO₂ 농도 증가는 산업 혁명 전에 약 280 ppm에서 현재 약 360 ppm에 이르고 있으며, 지역에 따라서는 380ppm까지 증가된 농도치를 나타내고 있다.

이러한 공기 중의 CO₂ 농도 증가는 산소 결핍증으로 생명체에 미치는 피해뿐만 아니라 온실효과에 의해 대기의 온도를 증가시키는 지구 전체적인 문제로 대두

* 대구전문대학 전자과
(Dept. of Electronics Daegu Junior College)
** 경북대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Eng. Kyungpook National Univ.)
*** 영남대학교 공동기기센터
(Scientific Instrument Center Youngnam Univ.)
<접수일자 : 1995년 6월 29일>

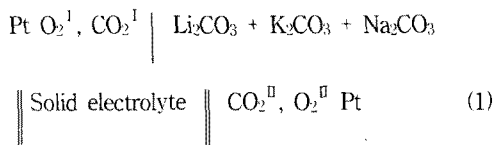
되고 있다. 따라서 국지적인 CO₂ 농도의 연속적인 측정으로 그 발생 원의 통제와 대처 방안을 장구함으로써 대기 및 작업환경의 보호와 개선책을 마련하는 일이 시급한 실정이다. 이를 위해 가장 기본적으로 필요한 장치가 CO₂ 농도 측정기로서 그 핵심 부인 CO₂ 감지 소자의 개발이 무엇보다 시급한 과제로 인식되고 있다.

그러나 CO₂는 화학적으로 매우 안정하기 때문에 화학적인 감지 기구를 가진 감지 소자의 개발이 매우 어려운 실정으므로 현재 실용화된 CO₂ 농도의 측정 방법은 주로 광학적인 방법에 의해 이루어져 왔다. 그런데 광학적인 방법은 선택성, 정량성 및 재현성이 뛰어난 반면, 측정 장치가 크고 복잡하며, 장비의 가격이 고가인 관계로 널리 활용되지 못하고 있는 실정이다. 최근에 와서는 이러한 단점을 보완하기 위해 NASICON(Na⁺-Super Ionic Conductor) 등과 같은 고체 전해질^[1-5]을 이용한 감지 소자의 개발이 활발히 진행 중이다.

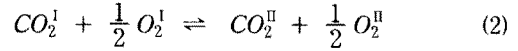
본 연구에서는 sol-gel법^[6-7]으로 Li 이온-고체 전해질^[8-12]을 합성하고, 이를 이용하여 시편을 제작하였다. 제작된 시편을 XRD, AES, SEM 및 TG/DTA 법으로 물성을 조사하였다. 또한 Li₂CO₃-K₂CO₃-Na₂CO₃ 혼합물^[13]과 스크린 인쇄한 백금 전극을 보조 전극과 감지 전극으로 사용하여 Li 이온-고체 전해질의 CO₂ 가스에 대한 감지 특성을 조사하였다.

II. 이 론

본 연구에서 제작한 CO₂ 가스 감지 소자의 구조는 아래와 같이 한 개의 화학 전지^[14]로 표현할 수 있다. 전체 구조 중에서 좌측 Pt 전극은 감지 전극, 우측 Pt 전극은 기준 전극의 역할을 한다. 또한 감지 전극과 고체 전해질 사이의 탄산염 혼합물은 CO₂ 가스의 표면 흡착을 활성화시키는 보조 전극의 역할을 한다.



전체반응은 아래와 같다.



두 전극들에서 발생하는 기체와 고체 사이의 전기 화학적 전위차는 Nernst식으로 표현되는데, 감지 전극 측의 전기 화학적 전위차는

$$E_1 = E_0 + \left(\frac{RT}{ZF} \right) \ln(P_{CO_2^I} \cdot P_{O_2^I}^{\frac{1}{2}}) \quad (3)$$

기준 전극측의 전기 화학적 전위차는

$$E_2 = E_0 + \left(\frac{RT}{ZF} \right) \ln(P_{CO_2^{II}} \cdot P_{O_2^{II}}^{\frac{1}{2}}) \quad (4)$$

로 표현된다. 이때, R 은 기체 상수, T 는 절대온도, F 는 패러데이 상수, Z 는 산화·환원 반응에 참여하는 화학종의 전자의 수를 나타내며, P 는 각 기체의 분압을 나타낸다.

(2)식의 반응에 대한 두 전극간의 기전력은 두개의 Nernst식의 차이를 구하고, 반응에 참여하는 전자의 수가 2개이므로 $Z = 2$ 를 대입하여 정리하면

$$\Delta E = \left(\frac{RT}{2F} \right) \ln(P_{CO_2^I} \cdot P_{O_2^I}^{1/2} / P_{CO_2^{II}} \cdot P_{O_2^{II}}^{1/2}) \quad (5)$$

로 표현된다.

이때, 만약 $P_{O_2^I} = P_{O_2^{II}}$ 이면, 즉 두 전극에서 산소 농도가 같다면

$$\Delta E = \left(\frac{RT}{2F} \right) \ln(P_{CO_2^I} / P_{CO_2^{II}}) \quad (6)$$

로 표현된다. 그러므로 기준 전극의 CO₂ 분압을 일정하도록 하기 위하여 비교적 CO₂ 농도가 일정한 공기 중에 기준 전극을 노출시키고, 감지 전극 측의 피검가스 CO₂ 농도를 변화시키면, 감지 소자 두 전극간의 기전력이 CO₂ 농도의 대수적 변화에 대해 선형적으로 변화하게 된다.

III. 실험

1. Li 이온-고체 전해질의 합성

CO₂ 가스 감지 소자의 모체 물질인 Li 이온-고체 전해질을 합성하기 위해 표 1과 같은 4가지 전구체를 사용하여 sol-gel법으로 합성하였다.

표 1. Li 이온-고체 전해질의 원료 물질

Table 1. The precursors of lithium ionic solid electrolyte.

Si(OC ₂ H ₅) ₄ (TEOS)---Tetraethyl orthosilicate (Aldrich, 98%)
LiOCH ₃ -----Lithium methoxide (Aldrich, 98%)
Zr(OC ₃ H ₇) ₄ -----Zirconium n-propoxide (Aldrich, 70% sol. in 1-propanol)
PO(OC ₄ H ₉) ₃ -----Tributyl phosphate (Aldrich, 99+%)

Li 이온-고체 전해질의 합성에 이용되는 대부분의 전구체들이 습기에 민감하게 반응하는 관계로 질소 가스가 충전된 밀폐된 공간에서 합성하였으며, 합성 중에 반응물질의 반응 온도를 60℃로 일정 하게 유지하였다. 또한 반응을 원활하게 하기 위해 자기교반하였다.

반응 순서는 우선 2.0 mol의 TEOS에 에탄올 100 ml, 질산 0.40 ml, 물 2.0 ml를 실온에서 혼합하여 20분 동안 반응시키고, 반응 온도를 60℃로 유지하여 2.0 mol의 zirconium n-propoxide를 10분 동안 첨가하여 5시간 동안 반응시켰다. 에탄올 100 ml와 물 2.0 ml의 희석 용액에 30분에 걸쳐서 위의 혼합 용액을 천천히 혼합시켰다. 여기에 tributyl phosphate를 첨가하여 1시간 동안 반응시킨 후, 또다시 에탄올 50 ml, 물 1.0 ml의 혼합 용액으로 희석시켰다. 이 희석 용액에 3.0 mol lithium methoxide 분말을 20분 동안 서서히 첨가하여 약 1시간 동안 반응시켰다. 이 반응 용액에 초산 0.10 mol, 에탄올 50 ml의 용액을 1시간에 걸쳐서 넣어 혼합하였다.

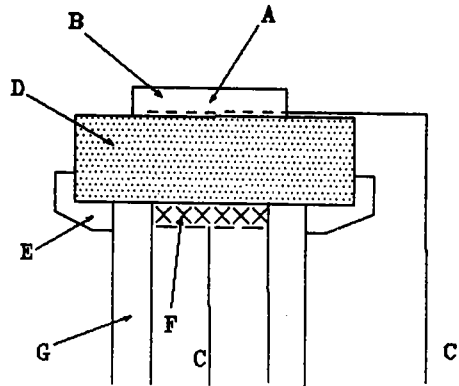
2. 감지 소자의 제작 및 동작 특성 측정

합성된 액상의 원료 물질을 90℃의 공기 중에서 20시간 동안 건조하고 이를 분쇄하였다. 분쇄된 분말을 TG/DTA(시차열분석)를 행하여 열처리 온도를 결정하고, 700℃ 공기 중에서 1시간 동안 calcination하였다.

동작 특성 측정에 사용한 소자는 Li 이온-고체 전해질 분말을 직경 10.0 mm의 원반형으로 4.0 ton/cm²의 압력으로 가압·성형하여 900℃에서 1100℃까지 소결

온도를 변화시켜서 열처리하였고, 한쪽 면에 Pt를 스크린 인쇄 방법을 사용하여 850℃에서 30분간 열처리하여 감지 전극을 형성하였고 소자가 저온에서 동작할 수 있도록 하기 위하여 비교적 저온에서 보조 전극이 형성되는 Li₂CO₃-K₂CO₃-Na₂CO₃ (47.6:25.4:27.0 wt%)의 혼합물을 사용하여 550℃에서 보조 전극을 형성시켰다. 그리고 다른 한쪽 면에는 Pt black을 사용하여 기준 전극을 형성하고, 이를 quartz관에 세라믹계 접착제로서 밀봉하여 소자를 제작하였다.

그림 1은 제작된 소자의 모양을 나타낸 것이다.



A: SENSING ELECTRODE
B: Li₂CO₃ + Na₂CO₃ + K₂CO₃
C: Pt-wire D: LISICON
E: Encapsulant
F: Pt-black G: Quartz

그림 1. CO₂ 가스 감지 소자의 구조

Fig. 1. Structure of CO₂ gas sensor.

제조된 소자가 CO₂ 농도 변화에 대하여 나타내는 감지 특성을 측정하기 위하여 피검가스의 농도를 MF2C(mass flow controller)로써 300ppm에서 6000ppm까지 변화시켰으며, 측정 중의 동작 온도는 전기로써 유지시켰다. CO₂ 농도 변화에 따른 감지 소자의 기전력의 변화를 전압계로 측정하면서 X-t 기록계로 기록하였다.

감지 소자의 내부저항이 10⁶ Ω 정도로 높기 때문에 전압계와 기록계의 전단에 고입력 저항을 가진 완충기를 설계하여 사용하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 물성분석

본 연구에서 합성한 Li 이온-고체 전해질 원료 분말을 시차열분석하여 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 이 그림에서 100°C 부근의 흡열반응은 alkyl기와 수분의 증발로 추측되며, 300°C 부근의 발열반응은 metal alkoxides와 인산염의 일부가 산화되는(burning) 현상으로 추측되고, 700°C 이상에서부터 서서히 발열반응이 일어나는 것으로 보아서 결정화가 이 온도에서 시작되는 것으로 추측할 수 있다.

시편의 열처리 온도에 따른 표면 상태를 전자현미경으로 관찰하여 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 이 그림으로부터 열처리 온도가 증가함에 따라서 입경이

변화하는 것을 관찰할 수 있었으며, 1000°C의 경우에 가장 뚜렷한 입계를 관찰할 수 있었다.

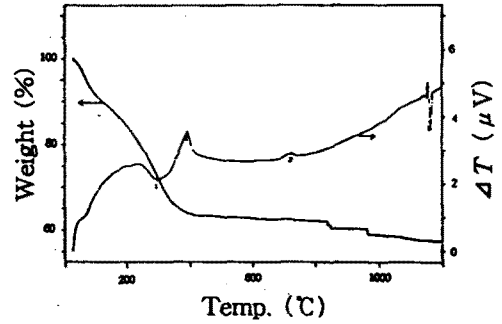
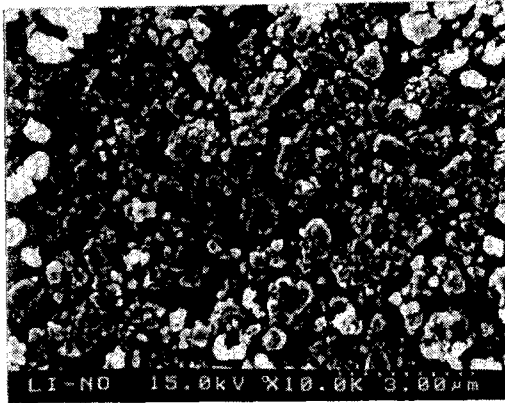
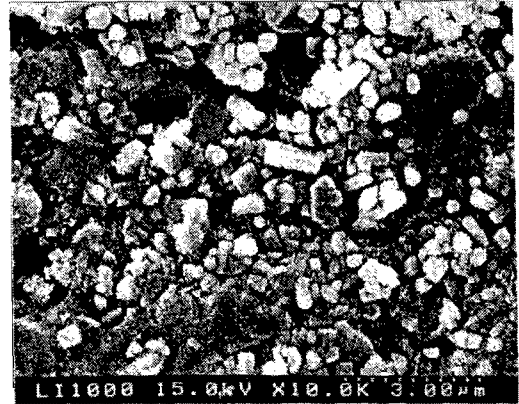


그림 2. 합성한 원료 분말의 시차열분석곡선

Fig. 2. TG/DTA analysis curves of synthesized raw powder.



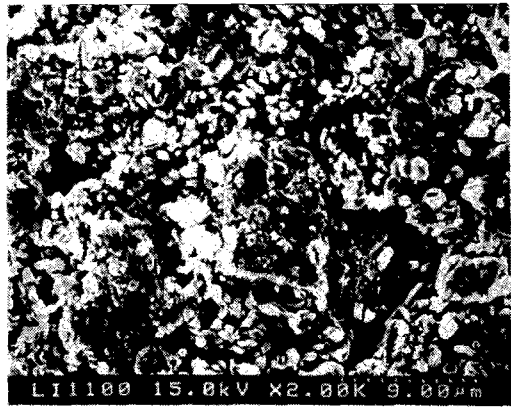
(a)



(c)



(b)



(d)

그림 3. 전자현미경 사진($\times 10,000$) a) no sintering, b) 900°C, c) 1000°C, d) 1100°C.

Fig. 3. Photography of SEM($\times 10,000$) a) no sintering, b) 900°C, c) 1000°C, d) 1100°C.

시편의 열처리 온도에 따른 X-선 회절 분석을 하여 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서는 1050℃에서 열처리한 시료의 경우에 $2\theta = 27.2^\circ$ 에서 가장 큰 피이크를 나타내어 가장 양호한 결정 성장을 추측할 수 있다.

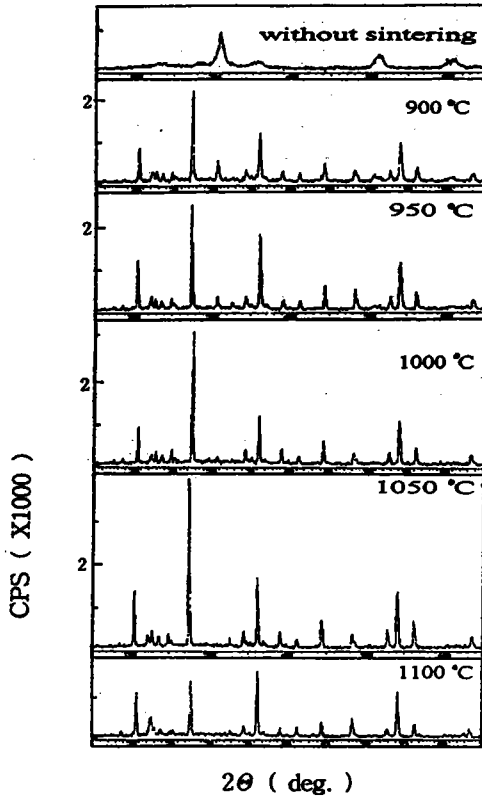


그림 4. X-선 회절의 패턴

Fig. 4. Patterns of X-ray diffraction.

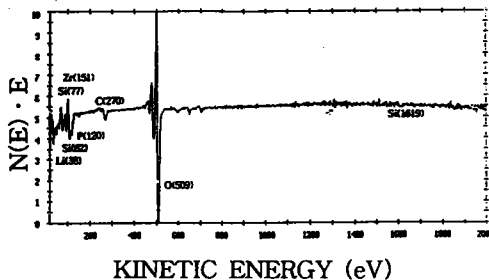


그림 5. 1000℃에서 열처리한 시편의 Auger electron spectroscopy 패턴.

Fig. 5. Pattern of Auger electron spectroscopy for sample sensor heat-treated at 1000℃.

1000℃에서 열처리한 시료를 AES(Auger electron spectroscopy) 분석한 결과를 그림 5에 나타내었다. 이 그림으로부터 Li 이온-고체 전해질 합성에 사용한 4가지의 전구체로부터 도입된 Li, Si, Zr, P 원소와 O 원소에 의한 피이크가 나타나므로 그들의 존재를 확인할 수 있었고, 조성비는 Li:Si:Zr:P:O=24.5:13.0:15.3:10.04:37.2 atom% 이었다.

2. CO₂ 가스에 대한 감지 특성

900℃~1100℃로 열처리한 각각의 소자들을 동작 온도 200℃~300℃에서 CO₂ 가스 농도를 300 ppm~6000 ppm으로 변화시켰을 때의 감도와 각 농도에 따른 응답 시간을 평균하여 표 2에 나타내었다.

표 2. 열처리 온도와 동작 온도에 따른 감도와 평균 응답 시간

Table 2. Sensitivity and mean response time for the various heat-treatment temperature and operating temperature

열처리 온도 (℃)	동작온도 (℃)	감도 (mV/decade)	평균응답시간 (min)
900	200	16.5	2.98
	225	28.5	2.34
	250	20	1.78
	275	24.5	3.1
	300	29	2.66
1000	200	35	3.64
	225	37.5	2.48
	250	50	2.36
	275	57.5	3.22
	300	63	2.8
1050	200	55	4.16
	225	48.5	3.36
	250	53.5	3.36
	275	49	2.88
	300	57.5	3.08
1100	200	9	3.28
	225	23.5	2.24
	250	32	2.78
	275	42.5	2.54
	300	55	2.42

일반적인 고체 전해질이 400°C 이상의 동작 온도에서 CO₂ 가스에 감응하는 점에 반하여 본 연구에서 도입한 K₂CO₃-Li₂CO₃-Na₂CO₃ 혼합물 보조 전극의 경우에는 200°C 이상의 온도에서 CO₂에 대하여 감지 특성을 나타내었다. 이 표로부터 알 수 있는 바와 같이 1000°C에서 열처리한 소자가 이론 식과 가장 유사한 감도를 나타내었으며, 그 중 동작 온도가 250°C인 경우에 가장 빠른 응답 속도를 나타내었다.

1000°C에서 열처리한 소자의 동작 온도에 따른 기전력의 변화를 그림 6에 나타내었다. 이 그림으로부터 동작 온도가 증가함에 따라서 기전력이 비교적 선형적으로 증가하여 이론 식을 만족하고 있음을 확인하였다.

1000°C에서 열처리한 소자의 CO₂ 가스 농도에 대한 기전력의 변화를 그림 7에 나타내었다. 300~6000 ppm의 CO₂ 농도 변화에 대해 본 소자는 우수한 선형성을 나타내었다. 250°C의 동작 온도에서는 이론 식과 유사한 감도인 50 mV/decade 나타내었다. 이 결과는 Na 이온 전도체를 사용하여 370°C의 동작 온도에서 45 mV/decade의 감도를 나타낸 Manabe 등의 결과^[11] 및 Li 이온-고체 전해질을 사용하여 350°C의 동작 온도에서 62.5mV/decade의 감도를 나타낸 Imanaka 등의 결과^[13]와 비교하여 더 낮은 동작 온도에서 더 높은 감도를 나타내었다.

여러 가지 CO₂ 가스 농도에 대한 감지 소자의 시간 응답을 y-t 기록계로서 측정한 결과를 그림 8에 나타내었다. 이 그림으로부터 가스 농도가 증가할수록 응답 시간이 빨라짐을 알 수 있고, 2000 ppm 이상의

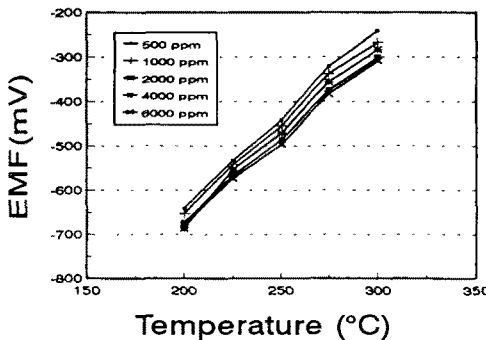


그림 6. 1000°C에서 열처리한 소자의 동작 온도에 따른 기전력.

Fig. 6. EMF dependence on operating temperature for sensor heat-treated at 1000°C.

CO₂ 가스 농도에 대하여는 1분 이내의 빠른 응답을 나타내었다.

CO₂ 가스의 농도를 연속적으로 2회 반복 측정하였을 때의 시간 응답을 그림 9에 나타내었다. 이 그림으로부터 알 수 있는 바와 같이 반복 측정 시의 오차는 500~4000 ppm 범위에서 약 3 mV 이내였다. Imanka 등의 결과^[11]에서는 20~160 ppm 범위에서 약 3 mV의 오차를 나타내었다.

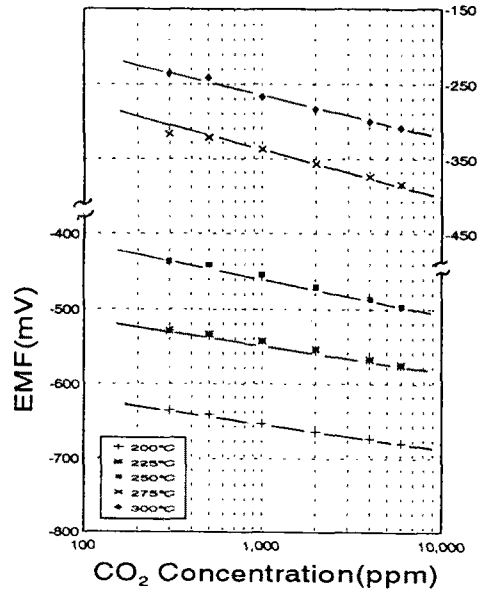


그림 7. 1000°C에서 열처리한 소자의 CO₂ 가스 농도에 따른 기전력.

Fig. 7. EMF dependence on CO₂ gas concentration for sensor heat-treated at 1000°C.



그림 8. 1000°C에서 열처리한 소자의 시간 응답.

Fig. 8. Time response for sensor heat-treated at 1000°C.

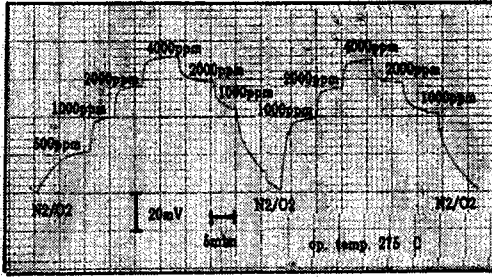


그림 9. 1000°C에서 열처리한 소자의 CO₂ 농도 변화에 대한 반복성.

Fig. 9. Repeatability for various CO₂ gas concentration for sensor heat-treated at 1000°C.

V. 결 론

CO₂ 감지 소자를 제조하기 위해 Li 이온-고체 전해질 원료 물질로서 tetraethyl orthosilicate, lithium methoxide, zirconium n-propoxide 및 tributyl phosphate를 전구체로 사용하여 sol-gel법으로 합성하고, 이를 건조 분쇄하여 원료 분말을 얻었다. 원료 분말을 이용하여 소자를 제작하고, 원료 물질의 물리적 특성과 동작 특성을 조사하였다. 물리적 특성은 시차열 분석결과, 700°C부터 서서히 결정화가 일어남을 확인하였고, AES로써 4가지 전구체로부터 도입된 원소와 산소의 존재를 확인하였으며, 전자현미경으로써 표면의 상태를 조사한 결과, 1000°C에서 열처리한 시편이 가장 양호 입계를 나타내었다. 또한 X-선 회절 분석 결과, 1000°C와 1050°C에서 가장 양호한 결과를 나타내었다.

동작 특성에 있어서는 Li₂CO₃-K₂CO₃-Na₂CO₃ 혼합물을 보조 전극으로 적용하여 비교적 낮은 온도인 200°C에서 동작하도록 하였다. 또 1000°C에서 열처리한 소자의 경우에 감도가 이론 치와 근사하게 일치하였으며, 250°C의 동작 온도에서 가장 양호한 50 mV/decade의 감도와 2000 ppm이상의 CO₂ 농도에 대하여 응답 시간도 1분 이내의 빠른 응답을 나타내었고, 6000 ppm까지 우수한 직선성을 나타내었다. 또한 지금까지 사용되어 온 금속 mesh 전극을 향후에는 소자의 개발과 양산화에 유리한 스크린 인쇄 방법으로 대체하여 안정된 동작을 얻을 수 있었다. 이상의 결과로부터 본 연구에서 합성한 Li 이온-고체 전해질을 이용한 CO₂ 가스 감지 소자가 실용 가능성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] Y. Sadaoka, Y. Sakai and T. Manabe, "CO₂-sensing characteristics of solid-state electrochemical sensor based on sodium ionic conductors," *Sensors and Actuators B*, Vol. 13-14, pp. 532-535, 1993.
- [2] T. Ishihara, K. Kometani and et al., "A new type CO₂ gas sensor based on capacitance changes," *Sensors and Actuators B*, Vol. 5, pp. 97-102, 1991.
- [3] V. Leonard, D. Fisher and et al., "Comparison of thin- and thick-film CO₂ sensors," *Sensors and Actuators B*, Vol. 13-14, pp. 530-531, 1993.
- [4] J. Lin, M. Heurich and et al., "Characterization and optimization of a CO₂-sensitive organically modified silicate with respect to its use a gas sensors," *Sensors and Actuators B*, Vol. 13-14, pp. 528-529, 1993.
- [5] T. Ishihara, K. Kometani and et al., "Application of mixed oxide capacitor to the selective carbon dioxide sensor," *J. Electrochem. Soc.*, Vol. 138, No. 1, pp. 173-176, 1991.
- [6] A. Wilson, J. D. Wright and et al., "Sol-gel materials for gas-sensing applications," *Sensors and Actuators B*, Vol. 18-19, pp. 506-572, 1994.
- [7] Y. L. Huang, A. Caneiro and et al., "Preparation of NASICON thin film by dip-coating on Si/SiO₂ wafers and corresponding C-V measurements," *Thin Film*, Vol. 196, pp. 283-294, 1991.
- [8] H. Aono, E. Sugimoto and et al., "Ionic conductivity of LiTi₂(PO₄)₃ mixed with lithium salts," *Chem. Lett.*, pp. 331-334, 1990.
- [9] N. Imanaka, T. Murata and et al., "CO₂ detection with lithium solid electrolyte sensors," *Sensors and Actuators B*, Vol. 13-14, pp. 476-479, 1993.
- [10] B. A. Boukamp and R. A. Huggins, "Fast ionic

- conductivity in lithium nitride," *Mat. Res. Bull.*, Vol. 13, pp. 23-32, 1978.
- [11] N. Imanaka, T. Kawasato and G. Apachi, "A carbon dioxide gas sensor probe based on lithium ionic conductor," *Chem. Lett. Jap.*, pp. 497-500, 1990.
- [12] N. Imanaka, T. Kawasato and G. Adachi, "Water vapor influence on carbon dioxide detection of the sensor based on lithium conducting solid electrolyte," *Chem. Lett. Jap.*, pp. 1743-1746, 1991.
- [13] N. Imanaka, T. Muraya and et al., "The operating temperature lowering for CO₂ gas sensor with lithium conducting solid electrolyte," *Chem. Lett. Jap.*, pp. 103-106, 1992.
- [14] D. B. Hibbert, *Introduction to Electrochemistry*, The Macmillan Press Ltd, London, pp. 59-82, 1993.

 著 者 紹 介



徐茂教

1961년 3월 26일생. 1984년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1986년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1990년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 1993년~현재 대구전문대학 전자과 조교수. 주관심분야 : 반도체 제조공정, 센서 재료 및 센서 시스템 등임.



郭鐘植

1961년 5월 7일생. 1989년 경북산업대학 전자과 졸업(공학사). 1994년 경북대학교 산업대학교 산업공학과 졸업(공학석사). 1999년~현재 경북대학교 대학원 센서공학과 박사과정. 1986년~현재 영남대학교 공동기기센터 근무. 주관심분야 : 센서 재료 및 반도체 제조공정 등임.



宋甲得

1970년 6월 17일생. 1994년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1994년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야 : 센서 인터페이스, 가스센서재료 등임.

李德東

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-14, p.123 참조.
현재 경북대학교 전자공학과 교수.