

(Ba_{0.5} Ca_{0.5})TiO₃ 감습소자의 전기적 특성

육재호*, 이덕출**

The Electrical Characteristics of
(Ba_{0.5} Ca_{0.5})TiO₃ Humidity-Sensitive Devices

Jaeho Yuk*, Duckchool Lee**

요 약

(Ba_{0.5} Ca_{0.5})TiO₃ 감습소자를 고상반응법으로 제조하고, 그 전기적 특성을 조사하였다. 상대습도에 대한 임피던스 변화가 선형적인 우수한 감도를 나타냈으며, 충·방전 전류 특성으로부터 흡습시 주요 캐리어는 이온성 캐리어임을 나타내며, 고온 및 고습영역으로 갈수록 전기전도도가 증가함을 알 수 있다. 고습영역으로 갈수록 유전율이 증가하며, 활성화에너지는 상대습도가 증가할수록 감소함을 알 수 있다.

Abstract

(Ba_{0.5} Ca_{0.5})TiO₃ humidity-sensitive devices were fabricated by a solid reaction method, and their electrical properties were investigated.

The specimens exhibited good humidity sensitivity, in which the impedance changes linearly. It is shown that electrical conduction with moisture adsorption is dominated by the ions through characteristics of charging and discharging current, and electrical conductivity increases as raising the temperature and relative humidity. It is realized that relative permittivity increases and activation energy decreases with increasing relative humidity.

1. 서 론

습도센서는 분위기중의 습도량을 감지하여 전기적 신호로 변환시키는 역할을 하는 소자이다. 이는 VTR, 컴퓨터, 자동차등 전기, 전자, 의학, 농학, 기계공학은 물론 각종 생산공정등 그 응용범위가 광범위하다. 최근에는 산업이 고도화됨에 따라 감도가 뛰어난 초정밀의 습도센서가 다량 요구되어 지고 있다. 종래 습도의 측

정은 모발 습도계나 건습구 습도계등을 이용하였으나 이들은 모두 물리적 수단에 의한 방식으로 정밀도는 물론 적용분야에도 많은 한계점을 지니고 있다. 따라서 이러한 한계점을 극복하기 위하여 1938년 Dunmore에 의해 전해재료인 염화리튬을 이용한 습도센서가 개발되었고 이는 습도변화에 따른 전기적 성질의 변화를 이용한 최초의 습도센서가 되었다^[1].

습도센서에는 염화리튬과 같은 전해질계, 유기고분자의 친수성 및 팽윤성을 이용한 유기재료계 그리고 수분의 흡착, 탈리현상을 이용한 세라믹스계가 있다. 습도센서의 요구조건으로는 고감도, 우수한 내구성, 내오염성, 온도 비의존성, 회로 결합성, 저가격, 비히스테리시스 및 생산성 등이 있지만 위의 조건을 다 만족시

* 유한전문대학 전기과
(Dept. of Electrical Eng., Yuhan Jr. College)

** 인하대학교 전기과
(Dept. of Electrical Eng., Inha University)
<접수일자 : 1995년 9월 25일>

키는 소자는 아직 개발되지 않고있는 실정이다. 그러나 세라믹스계는 물리적, 화학적, 열적으로 안정하기 때문에 상기 조건들을 만족시킬수 있는 근접물질로 선택되고 있으며 이에 대한 연구 또한 가장 활발히 진행되고 있다 [2][3].

따라서 본 연구에서는 세라믹스계 원료를 이용한 고온소결체의 감습소자를 제작하였으며, 소자의 제조는 생산성이 뛰어나고 소성공정 변화 및 도펀트의 첨가 등에 의해 미세구조의 제어가 용이한 고상반응법을 이용하였다. 감습소자로는 감도를 우수하게 하기 위해 친수성이 우수한 알칼리토족계 이온 Ba^{2+} , Ca^{2+} 을 이용하여 $(Ba_{0.5}Ca_{0.5})TiO_3$ 를 제조하였고, 감습소자로서의 응용 가능성을 보기 위하여 상대습도 변화에 따른 임피던스 변화를 측정하였으며, 감습기구를 규명하기 위하여 충전 및 방전전류, 유전율의 변화, 활성화에너지의 특성 등 제반 전기적 특성에 대하여 검토하였다.

2. 실험

각 시료 BaO , $CaCO_3$, TiO_2 를 $(Ba_{0.5}Ca_{0.5})TiO_3$ 의 조성비로 칭량한 후 아세톤을 분산매로 하여 24시간 불밀링하였다. 이때 칭량은 10^{-4} g 범위까지 행하였다. 이와같이 혼합, 분쇄된 시료를 $100^\circ C$ 에서 1시간 건조시킨 후 $850^\circ C$ 에서 2시간 하소시켰다. 하소된 분말을 다시 아세톤과 함께 12시간 불밀링하여 분쇄한 후 $100^\circ C$ 에서 2시간 건조시켰다. 그다음 시브(#170)를 통해 입도를 균일하게 하였다.

시편의 성형은 1 ton/cm^2 의 압력을 가해 디스크형으로 하였다. 소결은 $1100^\circ C$ 에서 1시간 소결하였으며 시편의 크기는 직경 10 mm, 두께 0.6 mm로 하였다. 전극형성은 백금 페이스트(Pt-paste)를 사용하였으며 $600^\circ C$ 에서 10분간 소결을 하였다.

온도 및 습도분위기 설정은 항온항습조(HC 7005, Heraeus Vötsch, German)를 사용하였으며, 상대습도에 따른 임피던스 및 유전율의 변화는 임피던스분석기(HP4192A, Hewlet Packard, U.S.A)를 사용하여 측정하였다. 그리고 충전 및 방전전류특성은 미소전류계(TR-8651, Takeda Riken, Japan), 직류전압원(ED-200E, ED Engin. Korea), 레코더(Rikadenki 62, Japan)를 사용하여 측정하였다. 충전전류 측정시 인가전압은 DC 1 V로 하였고 방전전류는 충전이 끝날시 인가전압을 0 V로 했을 때 나타나는 전류를 측정하였다. 습도측정

장치와 충·방전전류 측정시스템 개략도를 그림 1과 2에 각각 나타내었다.

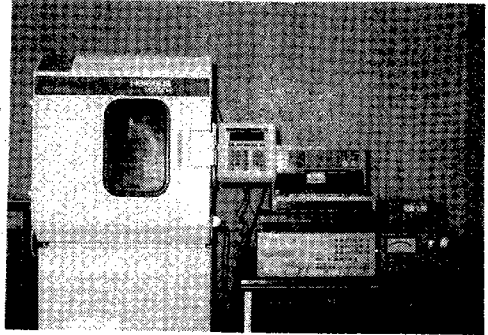


그림 1. 습도 측정장치

Fig. 1. Humidity measurement apparatus

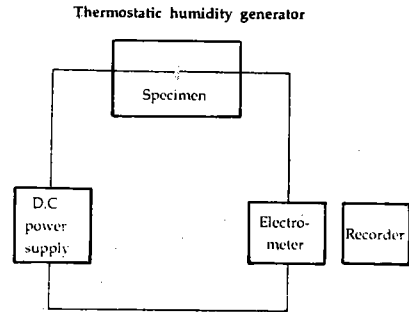


그림 2. 충·방전 전류 측정시스템 모식도

Fig. 2. Schematic diagram of the charging and discharging current measurement system

3. 결과 및 검토

3-1. 결정구조

소결온도에 의한 결정구조의 변화를 보기 위하여 소결온도를 $900^\circ C$, $1000^\circ C$, $1100^\circ C$ 에서 각각 1시간 행한 $(Ba_{0.5}Ca_{0.5})TiO_3$ 시편에 대한 결정구조를 X-ray Diffraction을 통해 분석하였으며, 그의 결과를 그림 3에 나타내었다. $900^\circ C$, $1000^\circ C$ 의 소결온도에서 BaO , TiO_2 의 미반응 물질이 존재하였으며, 이는 $(Ba_{0.5}Ca_{0.5})TiO_3$ 의 완전한 결정구조가 이루어지지 않았음을 나타낸다. 그러나 $1100^\circ C$ 의 소결온도에서는 미반응 물질이 나타나지 않았으며, 이는 $(Ba_{0.5}Ca_{0.5})TiO_3$ 의 페로브스카이트(perovskite) 단일상의 결정구조가 형성되었음을 제시한다.

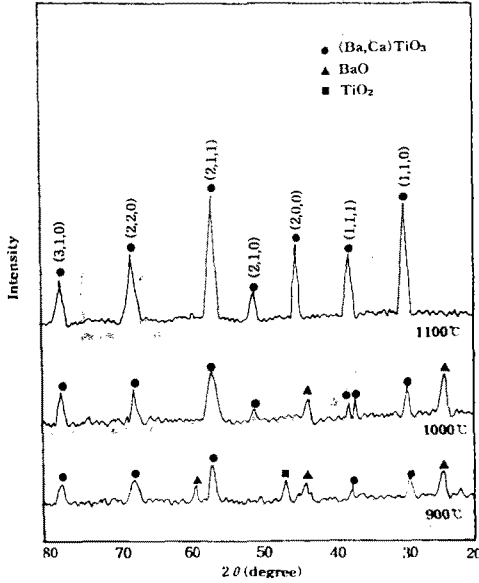


그림 3. X선 회절 형태
Fig. 3. X-ray diffraction patterns

3-2. 감습도 특성

상대습도에 대한 임피던스의 변화를 그림 4에 나타내었다. 측정은 분위기 온도 25 °C, 주파수는 1 kHz에서 행하였다. 흡습에 따라 임피던스는 감소하며, 임피던스의 변화폭이 크고 선형성이 뛰어난 우수한 감습특성을 나타내었다. 흡습에 따라 전기전도성이 증가하는 것은 수증기가 전도캐리어의 밀도를 증가시키기 때문이며, J. H. Anderson이 제시한 전도모델에 의해 설명될 수 있다.

즉, 처음 소량의 수증기가 존재할 때 수증기는 입자의 넥크(neck)부분에 화학흡착하여 수산기(-OH-)를 형성하게 된다. 그 다음 물분자는 물리흡착에 의해 수산기에 이중수소결합을 이루며, 이때 주요 캐리어는 H₃O⁺가 된다. 점점 다량의 수증기가 존재하면서 대향전극간에 연속적인 수분흡착에 의한 물분자의 다중층(전해결층)이 형성되며, 이로 인해 전기 전도도가 증가한다. 이때 물분자는 수산기에 단일수소결합을 이루며 H₃O⁺는 수화(hydration)에 의해 H⁺와 H₂O로 된다. 즉 고습영역에서 주요캐리어는 H⁺가 된다.^[1]

3-2. 충전 및 방전전류 특성

상대습도 40 %, 분위기 온도 25 °C, 직류인가전압 1 V

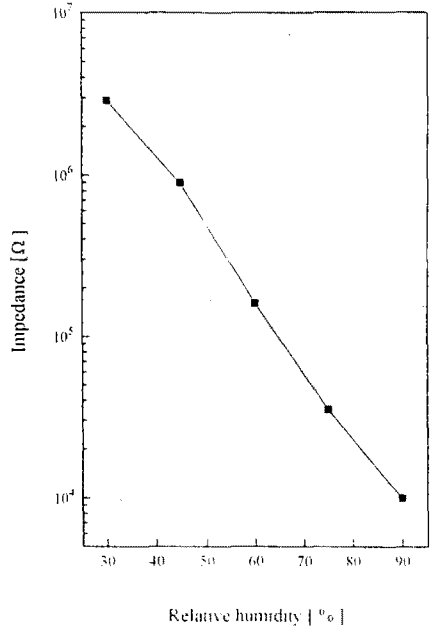


그림 4. 상대습도 대 임피던스 특성
Fig. 4. Impedance vs. relative humidity characteristics

하에서 측정된 충·방전전류 특성을 그림 5에 나타내었다. 충전시 초기전류 0.25 μA로 부터 정상상태전류 0.07 μA로 지수 함수적으로 감소하며, 방전전류는 초기전류 -0.22 μA로부터 정상상태전류 -0.045 μA로 지수함수적으로 감소하였다. 여기서 방전전류는 충전이 끝날시 인가전압을 0 V로 했을 때 나타나는 전류이다. 시간에 따른 충전전류의 변화는 단일완화시간 모델에 의해 나타낼 수 있다^[5]. 충전시 시간에 따른 전하의 변화율은 전하의 최종값과 시간 t에서 실제 축적전하와의 차이에 비례한다.

$$i_c(t) = \frac{dQ_{ic}}{dt} = \left(\frac{Q_{\infty} - Q_{ic}}{\tau_c} \right) \exp \left[\frac{-t}{\tau_c} \right] \quad (1)$$

여기서 Q_{ic}는 시간 t에서 실제 축적된 전하이며 Q_∞는 전계에 의한 순간축적전하이다. 만약 전계를 가하기전 축적된 전하가 없었다면 Q_{ic}는 0이다. 그리고 Q_∞는 충전시 최종적으로 축적된 전하량이다. 만약 Q_{ic}가 0 이면 충전시 초기전류 i_c(t=0)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_c(t=0) = \frac{Q_{\infty}}{\tau_c} \quad (2)$$

이온은 세라믹 벌크내에 축적되고 충전전류 $i_c(t)$ 생성시킨다. 그러나 전자는 전극경계면을 통과하여 정상상태전류 i_s 를 생성한다. 따라서 충전시 전체전류 i_c 는 다음과 같이 나타낸다.

$$i_c(t) = i_c(t) + i_s = \left(\frac{Q_{\infty c} - Q_{ic}}{\tau_c} \right) \exp\left[\frac{-t}{\tau_c} \right] + \frac{V}{R} \quad (3)$$

인가전압을 제거했을 때 나타나는 방전전류는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$i_d(t) = \frac{dQ_{id}}{dt} = \left(\frac{Q_{\infty d} - Q_{id}}{\tau_d} \right) \exp\left[\frac{-t}{\tau_d} \right] \quad (4)$$

Q_{id} 는 전계 제거시 순시축적전하이며, $Q_{\infty d}$ 는 방전 종료시 최종축적전하이다. 그리고 τ_d 는 방전완화시간이다. 축적전하는 순간적으로 변화하지 않기 때문에 Q_{id} 는 $Q_{\infty c}$ 와 같다. 만약 τ_d 와 τ_c 가 같고 $Q_{\infty d}$ 가 0이면 방전전류의 초기값은 다음과 같이 나타낸다.

$$i_d(t=0) = -\frac{Q_{id}}{\tau_d} = -\frac{Q_{\infty c}}{\tau_c} \approx -i_c(0) \quad (5)$$

실제 측정된 $i_c(t=0)$ 와 $i_d(t=0)$ 는 각각 $0.25[\mu A]$, $-0.22[\mu A]$ 이다. 이는 식 (5)의 경향과 거의 일치함을 알 수 있다.

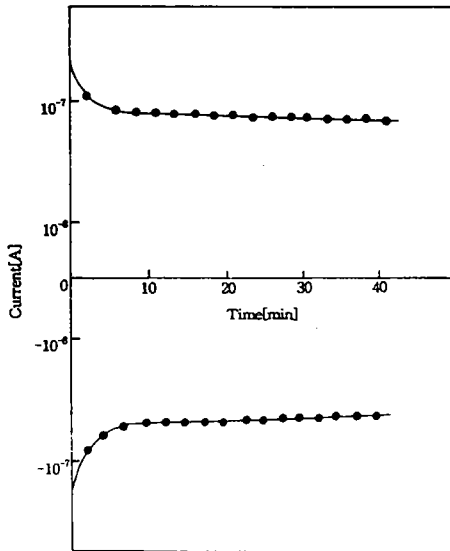


그림 5. 직류전압 1 V 인가시 충·방전전류 특성
Fig. 5. Charging and discharging current characteristics when a DC voltage of 1 V is applied

그리고 상대습도 40 %, 60 %, 90 %에서 충전전류 특성을 그림 6에 나타내었다. 이때 인가직류전압은 1 V, 측정온도 25 °C로 하였다. 또한 상대습도 40 %, 인가 직류전압을 1 V로 했을 때 25 °C, 50 °C, 70 °C에서의 충전전류 특성을 그림 6에 나타내었다.

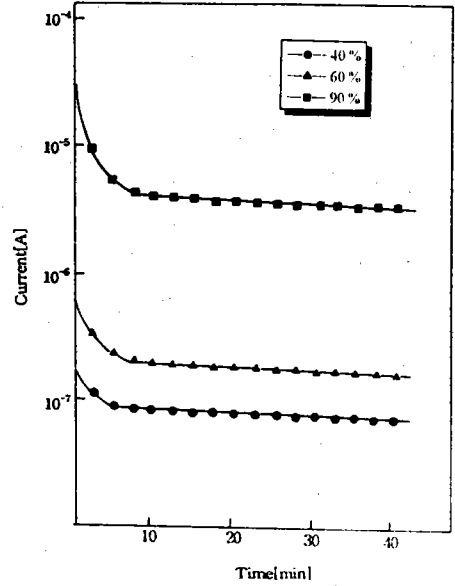


그림 6. 40%~90%의 상대습도에서 충전전류 특성
Fig. 6. Charging current characteristics when the relative humidity is varied from 40% to 90%

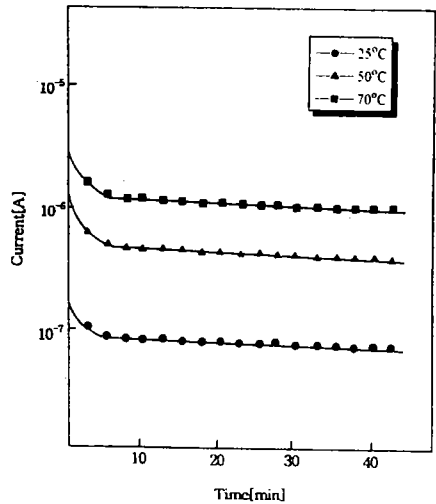


그림 7. 25°C~70°C의 온도에서 충전전류 특성
Fig. 7. Charging current characteristics when the temperature is varied from 25°C to 70°C

그림 6에서 보면 상대습도가 증가함에 따라 초기전류와 정상상태전류가 증가하였으며 초기전류대 정상전류의 비가 증가하였다. 이는 고습영역으로 갈수록 전기전도도가 증가하는 것을 의미한다. 그리고 고습영역에서 초기충전전류 $i_c(0)$ 가 급격히 증가하는 것은 다량의 수증기가 많은 양의 이온을 세라믹 벌크내에 축적시킴으로써 Q_{oc} 가 증가하기 때문이다. 이와같이 흡습시 주요 전도캐리어는 이온임을 알 수 있다.

그리고 그림 7의 결과로부터 고온영역으로 갈수록 초기전류와 정상상태 전류가 증가하였다. 이는 온도가 상승함에 따라 이온의 이동이 활발해짐으로써 전기전도도가 증가하는 것을 나타낸다.

3-3. 유전율의 변화

100 Hz - 1 MHz의 주파수에서 상대습도 증가에 따른 비유전율의 특성을 그림 8에 나타내었다. 이때 측정분위기온도는 25 °C로 하였다. 고습영역으로 갈수록 대체적으로 유전율이 증가하는 경향이 나타났으며 이는 다음과 같이 설명할 수 있다.

저습영역에서는 하나의 물분자는 두개의 수산기에 이중수소결합을 이루며 고습영역에서는 하나의 물분자는 하나의 수산기에 단일수소결합을 이룬다. 따라서 고습영역으로 가면서 이중수소결합을 이루던 물분자가 단일수소결합을 이루면서 재배열이 쉽게 이루어져 분극이 용이하게 일어나므로 고습영역으로 갈수록 유전율이 상승하게 된다.^[6]

그리고 저주파 영역에서는 저습에서 고습영역에 걸쳐 유전율의 변화가 뚜렷하지만 고주파 영역으로 갈수록 유전율의 변화가 감소되었다. 또한 각각의 상대습도에서 볼 때 고주파 영역으로 갈수록 유전율이 감소하였다. 이는 분극을 완하하는 데는 어느정도 시간이 소요되는데 주파수가 높아질수록 분극이 전계의 변화를 따라가지 못하기 때문에 유전율이 감소하게 되는 것이다^[7].

그림 9에는 습도센서의 등가회로 모델을 나타냈으며 결정그레인(crystal grain), 그레인표면(grain surface), 전극표면(electrode surface)등 세영역으로 나뉘어 진다.

$R_g, R_{gs}, C_{gsn}, R_e, C_{en}$ 은 결정그레인 저항, 그레인 표면저항, 그레인 표면 non-Debye 커패시턴스, 전극표면저항, 전극표면 non-Debye 커패시턴스를 각각 나타낸다. non-Debye 커패시턴스를 $C_{en} = C_1(j\omega)^{n_1-1}$, $C_{gsn} = C_2(j\omega)^{n_2-1}$ 이라하면 모델의 임피던스는

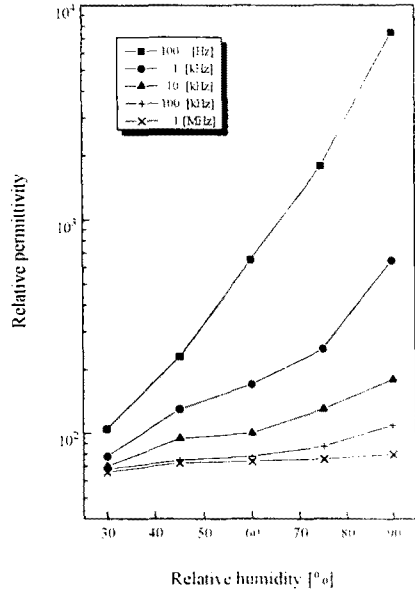


그림 8. 100 Hz - 1 MHz의 주파수에서 상대습도 대 비유전율 특성

Fig. 8. Relative dielectric constants vs. relative humidity when the measurement frequency is varied from 100 Hz to 1 MHz

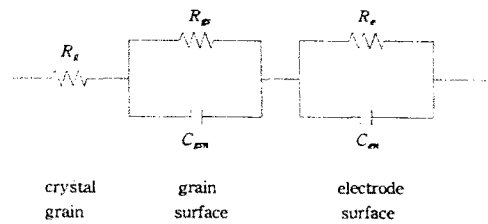


그림 9. 등가회로 모델

Fig. 9. Equivalent circuit model

$Z(\omega) = Z(\omega) - jZ'(\omega)$ 로 나타낸다^[8].

여기서 C_1, C_2 는 상수, $n_1, n_2 < 1$, $j = \sqrt{-1}$, $\omega = 2\pi f$ 이다.

전극과 세라믹의 경계면에서의 분극 효과가 그레인 표면의 분극 효과보다 매우 크다면 C_1 은 C_2 보다 매우 크게 된다.

$$Z(\omega) = R_g + \frac{\frac{1}{R_{gs}} + C_2 \left(\cos \frac{n_2 \pi}{2} \right) \omega^{n_2}}{\left[\frac{1}{R_{gs}} + C_2 \left(\cos \frac{n_2 \pi}{2} \right) \omega^{n_2} \right]^2 + \left[C_1 \left(\sin \frac{n_1 \pi}{2} \right) \omega^{n_1} \right]^2}$$

$$+ \frac{\frac{1}{R_g} + C_1 \left(\cos \frac{n_1 \pi}{2} \right) \omega^{n_1}}{\left[\frac{1}{R_g} + C_1 \left(\cos \frac{n_1 \pi}{2} \right) \omega^{n_1} \right]^2 + \left[C_1 \left(\sin \frac{n_1 \pi}{2} \right) \omega^{n_1} \right]^2} \quad (6)$$

$Z'(\omega) =$

$$\frac{C_2 \left(\sin \frac{n_2 \pi}{2} \right) \omega^{n_2}}{\left[\frac{1}{R_g} + C_2 \left(\cos \frac{n_2 \pi}{2} \right) \omega^{n_2} \right]^2 + \left[C_2 \left(\sin \frac{n_2 \pi}{2} \right) \omega^{n_2} \right]^2} + \frac{C_1 \left(\sin \frac{n_1 \pi}{2} \right) \omega^{n_1}}{\left[\frac{1}{R_g} + C_1 \left(\cos \frac{n_1 \pi}{2} \right) \omega^{n_1} \right]^2 + \left[C_1 \left(\sin \frac{n_1 \pi}{2} \right) \omega^{n_1} \right]^2} \quad (7)$$

즉 저주파에서 (6)(7)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Z(\omega) \approx R_g + R_{gs} + \frac{\cos(n_1 \pi / 2)}{C_1 \omega^{n_1}} \quad (8)$$

$$Z'(\omega) \approx \frac{\sin(n_1 \pi / 2)}{C_1 \omega^{n_1}} \approx \frac{1}{C_1 \omega^{n_1}} \quad (9)$$

식 (8)(9)로부터 저주파에서 비유전분산은

$$k(\omega) = \frac{Z''(\omega)}{\omega \epsilon_0 [Z'(\omega)^2 + Z''(\omega)^2] A / d} \approx \frac{d/A}{\omega \epsilon_0 \{ [R_g + R_{gs} + \cos(n_1 \pi / 2) / (C_1 \omega^{n_1})]^2 + [1 / (C_1 \omega^{n_1})]^2 \}} C_1 \omega^{n_1} \quad (10)$$

그리고 저주파 영역에서 $R_g + R_{gs} \gg \frac{1}{C_1 \omega^{n_1}}$ 이므로 (10)식은

$$k(\omega) \approx \frac{d/A}{\omega \epsilon_0 (R_g + R_{gs})^2 C_1 \omega^{n_1}} \quad (11)$$

이 식으로부터 $k(\omega)$ 는 저주파 영역에서 $C_1 \omega^{n_1+1}$ 과 $(R_g + R_{gs})^2$ 에 반비례함을 알 수 있다.

이것은 그림 10의 주파수에 대한 비유전율 특성으로부터 확인할 수 있듯이 저주파 영역에서는 (11)식과 같이 비유전율은 주파수의 증가에 따라 지수함수적으로 감소하였다. 그리고 고주파 영역에서 비유전율의 변화가 거의 없는 것으로 보아 분극효과는 고주파 영역에서 잘 이루어지지 않음을 알 수 있다.

그림 11에는 각각의 상대습도에서 온도변화에 따른 유전율의 변화를 도시하였다. 이때 측정주파수는 1 kHz로 하였다. 온도가 증가함에 따라 유전율이 증가하

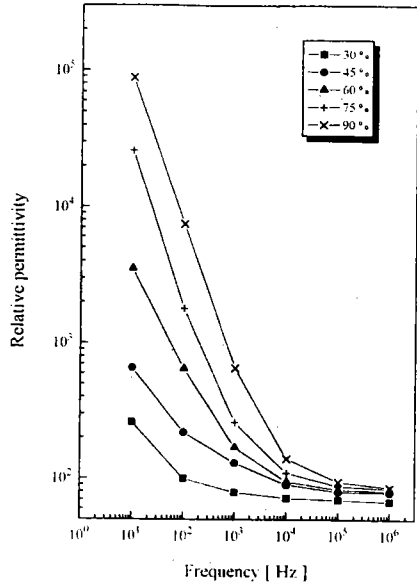


그림 10. 30%~90%의 상대습도에서 주파수 대 비유전율 특성

Fig. 10. Relative dielectric constants vs. frequency when the relative humidity is varied from 30% to 90%

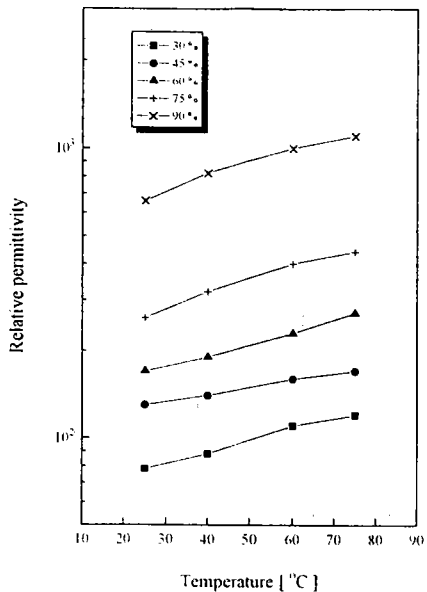


그림 11. 30%~90%의 상대습도에서 온도 대 비유전율 특성

Fig. 11. Relative dielectric constants vs. temperature when the relative humidity is varied from 30% to 90%

였으며 저습영역과 고습영역에서 온도에 대한 유전율의 증가비율은 거의 일정하였다. 이와같이 온도가 증가할수록 유전율이 증가하는 것은 식 (11) 에서 알 수 있는 것과 같이 그레인 표면에 존재하는 수분중의 전도 캐리어의 이동도가 열에 의해 증가함으로써 그레인표면저항(R_{gs})이 감소하기 때문이다.

3-4. 활성화에너지의 변화

세라믹의 입계에는 일반적으로 활성화 에너지가 (activation energy)가 존재하게 되며 활성화 에너지는 다음 아레니우스 법칙(Arrhenius' law)에 의해 구할 수 있다.

$\sigma = \sigma_0 \exp(-\phi/kT)$ (12)

σ : 도전율($\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$) k: 볼츠만 상수(1.38×10^{-23} J/K)
T: 절대온도(K) ϕ : 활성화 에너지[eV]

그림 12에는 상대습도 40 %, 60 %, 90 % 에서 온도 T °K 에 대한 도전율 σ 를 나타내었으며, 결과로부터 선형적 관계를 가짐을 알 수 있다. 이 직선의 기울기로부터 활성화 에너지 ϕ 를 구할 수 있으며 그의 결과는 상대습도 40 %, 60 %, 90 %에서 0.46 eV, 0.43 eV, 0.39 eV를 각각 나타냄을 알 수 있다. 즉 고습영역으로 갈수록 활성화 에너지가 다소 낮아짐을 알 수 있다.

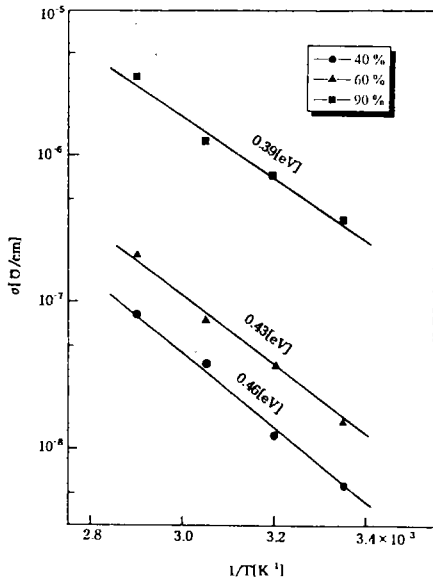


그림 12. 도전율-온도 특성
Fig. 12. $\sigma - 1/T$ characteristics

이 활성화에너지는 유전상수의 함수로서 유전상수가 높을 때는 활성화에너지가 낮아져 도전성이 증가하게 된다 [10].

다공질 세라믹에서는 기공을 통해 습기가 흡수되고 입자 및 입계의 표면에 응축하게 된다. 이때 습기는 해리해서 OH를 형성하고 금속이온상에 화학흡착을 이루게 되며, 다시 수산기에 물분자는 수소결합을 이루게 된다. 그후 연속적인 수분흡착에 의하여 비유전율이 상승하게 된다. 이와 같이 고습영역으로 가면서 유전율이 상승하게 됨으로써 입계에 존재하는 활성화 에너지가 낮아지는 것으로 생각된다. 즉 고습영역으로 갈수록 전기전도도가 증가하는 것은 캐리어의 증가뿐만 아니라 활성화에너지가 낮아지는 효과에도 기인하는 것으로 추정된다.

3-5. 히스테리시스 특성

흡습과 탈습에 따른 히스테리시스 특성을 그림 13에 나타내었다. 고습영역에서 약간의 히스테리시스 현상이 나타남을 알 수 있다. 이와같은 히스테리시스 특성의 원인은 감습부에 있는 물분자의 평형증기압이 흡착시와 탈착시에 다르기 때문이다 [11]. 이 증기압의 차 ΔP 는 아래 식으로 나타낸다.

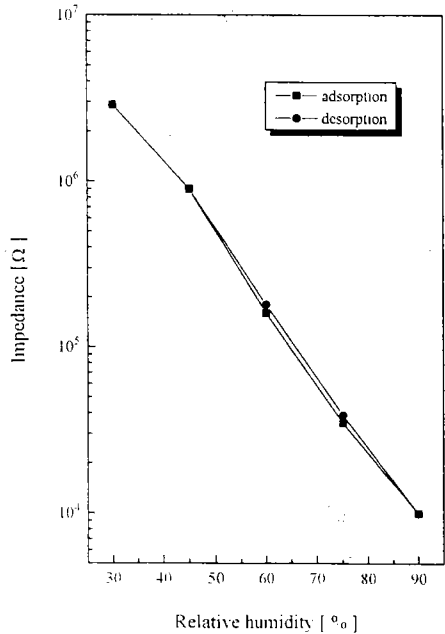


그림 13. 히스테리시스 특성
Fig. 13. Hysteresis characteristics

$$\Delta P = \sigma \Delta S / V \quad [N/m^2] \quad (13)$$

ΔP : 평형증기압의 차 $[N/m^2]$ σ : 표면장력 $[N/m]$

ΔS : 물의 표면적의 변화 $[m^2]$ V : 물의 체적 $[m^3]$

즉, 체적이 일정한 물의 표면적이 변화함에 의해 증기압이 변화함을 알 수 있다. 따라서, 흡착된 물이 모세관 응축에 의해 표면적이 감소하는 경우 표면자유에너지($\sigma \Delta S$)의 저하가 히스테리시스의 주요 원인으로 된다.

4. 결 론

($Ba_{0.5}Ca_{0.5}$) TiO_3 의 감습소자는 상대습도에 대한 임피던스 변화폭이 저습에서 고습영역에 걸쳐 $10^3 \Omega$ 정도에 이르고, 히스테리시스 특성이 거의 나타나지 않는 습도센서로서 응용가능성이 우수한 특성을 나타내었다. 흡습시 주요 전도캐리어는 충·방전특류 특성으로부터 이온임을 알 수 있었다. 그리고 유전특성으로부터 고습영역으로 가면서 이중수소결합을 이루던 물분자가 단일수소결합을 이루고, 고주파 영역에서는 분극현상을 기대할 수 없음을 알 수 있었다. 또한 습도의 증가에 따른 활성화에너지의 저하는 전기전도도의 증가에 기여함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] F. W. Dunmore, "An improved electric hygrometer," J. Res. Nat. Bur. Stand., vol. 23, pp. 701~714, 1939.
- [2] T. Nitta et al., "Humidity Sensitive Electrical Conduction of $MgCr_2O_4-TiO_2$ Porous Ceramics,"

- J. Am. Ceram. Soc., vol. 63, no. 5-6, pp. 295~300, 1979.
- [3] C. Cantalini and Mario Pelino, "Microstructure and Humidity Sensitive characteristics of a $\alpha-Fe_2O_3$ Ceramic Sensor," J. Am. Ceram. Soc., vol. 75, no. 3, pp. 546~551, 1992.
- [4] J. H. Anderson, G. A. Parks, "The electrical conductivity of silica gel in the presence of adsorbed water," J. Phys. Chem., vol. 72, pp. 3662~3668, 1968.
- [5] W. D. Kingery, H. K. Bowen and D. R. Uhlmann, Introduction to ceramics, John Wiley and sons, New York, p. 922, 1977.
- [6] T. Seiyama, N. Yamazoe and H. Arai, "Ceramic Humidity Sensors," Sensors and Actuators, vol. 4, pp. 85~96, 1983.
- [7] 鳳誠三郎外, 誘電體 現象論, pp. 120~121
- [8] M. Casciola and D. Fabiani, "Ionic Conduction and Dielectric Properties of Anhydrous Alkali Metal Salt Forms of α -Zirconium Phosphate," Solid state ionics, vol. 11, pp. 31~38, 1983
- [9] A. K. Jonscher, "Analysis of alternating current properties of ionic conductors," J. Mater. Sci., vol. 13, pp. 553~562, 1978.
- [10] W. Heywang, "Barium Titanate as a Semiconductor with Blocking Layers," Solid State Electron., vol. 3, no. 1, pp. 51~58, 1961.
- [11] Kazuhiro Suzuki, "Moisture Sensing Materials and Mechanism in Capacitive Humidity Sensors," T. IEE Japan, vol. 112-A, no. 9, pp. 782~788, 1992.

著 者 紹 介



육 재 호(陸宰豪)

1962년 6월 5일생. 1985년 인하대 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 유한전문대학 전기과 조교수

이 덕 출(李德出)

「센서학회지 제4권 제3호」 논문95-4-3-03, p.21 참조
현재 인하대학교 전기공학과 교수