

90[wt%] SnO₂-10[wt%] TiO₂ 세라믹스의 습도감지특성

Humidity Sensing Properties of 90[wt%] SnO₂-10[wt%] TiO₂ Ceramics

유도현*
(Do-Hyun You)

Abstract - The purpose of this paper is to establish the optimum fabricating condition of specimens using silk screen printing, and to develop humidity sensor which has good humidity sensing properties. The specimens are fabricated under the condition of 90[wt%] SnO₂-10[wt%] TiO₂, and their microstructure, crystalline structure, humidity sensing properties are examined. From the microstructure analyses, porosity is best at 700[°C]. From the crystalline structure analyses, intensity of peak becomes strong according to increasing heat treatment temperature. From the humidity sensing properties analyses, an overall results of capacitance changes, linearity and hysteresis for the specimens is best at 600 [°C] and 700[°C]. Capacitance of specimens increases according to decreasing measurement frequency, and to increasing relative humidity.

Key Words : Humidity Sensing Properties, 90[wt%] SnO₂-10[wt%] TiO₂, Silk Screen Printing, Capacitance

1. 서론

수분은 대기 중의 약 80[%]를 차지하고 있는 가운데, 전기, 전자, 재료, 식품, 섬유, 제지 및 정밀제어 산업분야 등에서는 생산관리 및 품질향상을 목적으로 정밀한 습도 측정 및 제어 등에 대한 연구가 진행되어 왔다. 하지만 대기 중에 포함된 수분은 극히 소량이고 수분이 재료에 미치는 영향이 물리적, 화학적으로 매우 복잡하기 때문에 정밀한 습도 측정과 제어를 위하여 정밀도가 높은 센서에 대한 필요성이 높아지고 있다.

센서는 감지하는 방식에 따라서 생물학적, 화학적, 전기적, 자기적, 열적, 기계적 및 광학적 방법으로 구분되는 가운데, 빠른 응답속도, 우수한 재현성, 긴 수명, 저렴한 가격 및 제조가 간단해야 하고 열화가 잘되지 않으며 온도 의존성도 적어야 한다. 센서를 제작방식에 따라서 구분하면 스크린프린팅법, 스펀 코팅법, 솔젤법, electroplating법, 스퍼터링법, CVD법, PLD법 및 MBE법 등이 있으며[1], 동작방식에 따라서 구분하면 전압을 측정하는 전위차법, 전류를 측정하는 전류계법, 전기 전도도나 저항을 측정하는 전도도법으로 구분할 수 있다.

습도센서는 전도도법을 이용하여 전해물질의 커패시턴스나 임피던스를 측정하는 것으로서, 현재까지 개발된 습도센서는 수분에 대한 감지응답속도가 느리고 히스테리시스가 크며 재현성이 떨어지고 집적화하는데 많은 문제점이 있었다. 최근에는 이와 같은 단점을 보완할 수 있는 금속 산화물계 센서에 대한 연구가 진행 중이다[2].

금속 산화물계는 다른 재료에 비하여 물리적, 화학적 및

열적으로 안정하기 때문에 응용분야가 점차 증가하고 있고 재료의 조성, 화학구조 및 형상, 결정립 분포의 제어 등에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

금속 산화물계 세라믹스의 원료인 SnO₂는 전형적인 n형 산화물 반도체로서 결정 구조는 tetragonal의 rutile 구조를 가지고 있으며 단위 cell은 Sn 이온(Sn⁴⁺) 2개와 산소 이온(O²⁻) 4개로 8면체를 이루고 있다. SnO₂ 막은 물에 녹지 않고 비교적 넓은 에너지 밴드(3.4~4[eV])를 가지고 있어서 가시광선 영역에서 투명하며 비저항이 약 10⁻¹~10⁻²[Ω·cm] 정도로 전도성이 우수하기 때문에 습도센서, 가스센서, 디스플레이용 투명 전극 및 태양 전지 등에 사용되고 있다. SnO₂ 막은 저렴한 가격으로 제작이 가능하고 수명이 길며 간단한 회로만으로도 동작될 수 있는 등 많은 장점을 가지고 있기 때문에 각종 센서재료로서 각광받고 있다. SnO₂는 습도센서로서 요구되는 rutile형 구조와 산소 공공에 의한 전기전도 특성을 가지고 있어서 일찍부터 습도센서용 재료로 많이 이용되어 왔다. 그러나 높은 융점과 안정적인 구조로 인하여 초기 저항이 매우 높아서 상온에서 동작되는 센서로서 이용이 곤란한 요소를 가지고 있다[3].

TiO₂는 무색 또는 백색으로 높은 유전상수와 낮은 유전손실을 갖고 있으며, 밴드 갭(≒3.2[eV]) 이상의 에너지를 조사하면 가전자대의 전자가 전도대로 여기된다. 이때 생긴 전자와 정공이 TiO₂ 표면으로 이동하여 재결합하거나 흡착된 물질과 산화, 환원반응을 일으킨다. 가전자대의 정공(H⁺) 이 물과 반응하여 수산화기(OH-)를 생성하고, 전도대의 광 여기전자의 환원반응으로 공기 중 산소의 환원이 일어나 활성 산소가 생성되며, 이것들이 반응 활성종으로 흡착 유기물과 반응하게 된다[4]. 또한 TiO₂는 장기 안정성과 동작 시 높은 온도를 유지해야 하는 단점이 있지만, 간단한 구조와 작은 부피, 비교적 저렴한 가격으로 제작할 수 있고 빠른 응답특성을 나타내며 반도체 IC와 더불어 sensor device를 집적화할 수 있는 장점도 있다[5].

* Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering,
Shin Ansan University, Korea.

E-mail : dhyou@sau.ac.kr

Received : April 20, 2014; Accepted : August 21, 2014

감습물질로 알려진 SnO₂와 TiO₂는 모두 rutile 구조를 포함하고 있으며 이 두 물질은 (Ti_xSn_{1-x})O₂의 고용체를 형성하는 것으로 알려져 있다. 이런 SnO₂/TiO₂계는 각각 SnO₂와 TiO₂가 가지고 있는 단점을 보완함으로써 감습특성을 향상시키는 물질이라고 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 출발물질인 SnO₂의 습도감지특성을 향상시키고자 TiO₂를 첨가제로 이용하였으며, 스크린 프린팅법을 이용하여 습도감지소자를 제작하였다. 또한 열처리 온도에 따른 막의 미세구조, 결정구조 변화와 습도감지특성에 대해서 조사하였다.

2. 실험

2.1 시편제작

본 시편제작에 이용한 시약은 TiO₂(Daejung Chemical, Korea), Ethyl Cellulose 50(Junsei, Japan), Diethylene Glycol Monobutyl Ether Acetate(Junsei, Japan)이다. Diethylene Glycol Monobutyl Ether Acetate 파우더와 Ethyl Cellulose 50 용액을 27[wt%] : 3[wt%]로 혼합한 후, bubbler에서 1,000[rpm]으로 30분, 2,000[rpm]으로 30분 동안 회전시켜 두 물질을 혼합한 바인더를 제작한다.

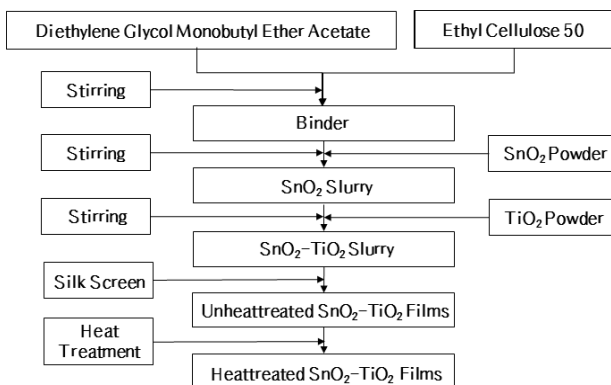


그림 1 습도감지막 제작방법

Fig. 1 Fabrication Method of Humidity Sensing Films

제작한 바인더에 SnO₂ 파우더를 섞었으며 이때 SnO₂ 파우더와 바인더의 혼합비율을 63[wt%] : 30[wt%]로 한 후, 혼합액이 균질하게 섞이도록 bubbler에서 1,000[rpm]으로 30분, 2,000[rpm]으로 30분 동안 회전시켜 SnO₂ 슬러리를 제작하였다. 제작된 SnO₂ 슬러리에 TiO₂ 파우더를 혼합했으며, 이때 SnO₂ 슬러리 : TiO₂ 파우더의 혼합비율을 93[wt%] : 7[wt%]로 한 후, 혼합액이 균질하게 섞이도록 bubbler에서 1,000[rpm]으로 30분, 2,000[rpm]으로 30분 동안 회전시켜 SnO₂와 TiO₂ 혼합슬러리를 제작하였다.

스크린 프린터 위에 IDT 전극이 인쇄된 Al₂O₃ 기판을 고정시키고 실크 스크린망 위에 제작한 SnO₂와 TiO₂ 혼합슬러리를 부은 후 일정한 힘으로 압력을 가하여 Al₂O₃ 기판위에 막을 제작하였다. 제작한 막을 결정화시키기 위해 전기로에서 600[°C], 700[°C], 800[°C]의 온도로 열처리하였고 이

때 실온에서 각 온도까지 올리는데 걸리는 시간은 5[°C/min], 각 온도에서 1시간 유지, 각 온도에서 실온까지 내리는데 걸리는 시간은 1.67[°C/min]으로 하였으며, 막의 제작방법을 그림 1에 나타낸다.

2.2 측정방법

2.2.1 미세구조특성 측정

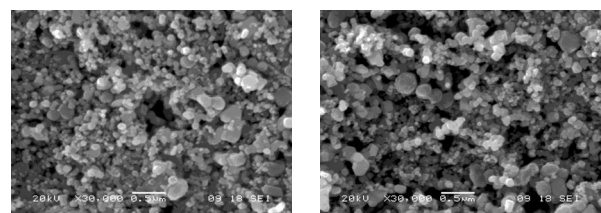
습도감지막의 미세구조를 측정하기 위하여 Scanning Electron Microscope(JEOL, JSM-5600)를 이용하였다. 측정조건은 가속전압 20[kV], 배율 30,000배로 하였으며, 이온전류가 흐르는 Ion Coater를 이용해 Au 코팅을 한 후 가속전자 조사 시 발생하는 2차전자(secondary electron)를 이용하여 측정하였다.

2.2.2 결정구조특성 측정

습도감지막을 열처리한 후 결정화 거동을 조사하기 위하여 XRD(RIGAKU, D/MAX 2200V/PC)를 이용하였다. 측정조건은 주사범위 20°~90°, 인가전압과 전류 40[kV/mA], 타겟 Cu, 주사속도 4[deg/min]으로 하였다.

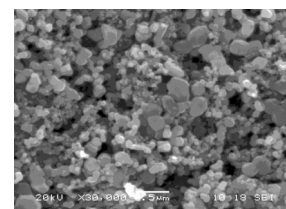
2.2.3 전기적 특성 측정

상대습도와 측정주파수에 따른 커패시턴스 변화를 측정하기 위하여 항온항습조(ESPEC, SH641), LCR 미터(AGILENT, 4284A)를 이용하였다. 측정조건은 온도 25[°C], 주파수 100[Hz]~500[kHz], 상대습도 30~90[%RH]로 하였다. 또한 물을 흡착 시와 탈착 시 상대습도에 따른 커패시턴스 변화를 측정하기 위하여 상대습도를 흡착 시 30→45→60→75→90[%RH], 탈착 시 90→75→60→45→30[%RH]로 변화시켰다.



(a) 열처리 온도 : 600[°C]

(b) 열처리 온도 : 700[°C]



(c) 열처리 온도 : 800[°C]

그림 2 열처리 온도에 따른 막의 미세구조 특성

Fig. 2 Microstructure Properties of Films according to Heat Treatment Temperature

3. 결과 및 고찰

3.1 습도감지막의 미세구조 특성

그림 2는 열처리 온도에 따른 막의 미세구조를 나타낸다. SnO₂는 비교적 높은 온도에서 결정화가 이루어지는 물질임을 감안할 때 열처리 온도가 600[°C], 700[°C], 800[°C]와 같이 비교적 낮은 온도에서는 입자의 크기나 입계의 변화에 큰 영향을 미치지 못한 것을 알 수 있다. 하지만 열처리 온도가 600[°C]에서 700[°C], 800[°C]로 증가함에 따라서 미소하나마 입자의 크기가 커지는 것을 보이고 있다. 또한 열처리 온도 700[°C]일 때가 600[°C], 800[°C]일 때보다 기공도가 높은 것을 알 수 있다. 세라믹스 습도센서는 열처리 조건을 적절히 조절하여 다공질체를 얻는 것이 필수적인데, 이는 공기 중의 수분이 기공 사이를 쉽게 통과하도록 하기 위해서이다[6].

3.2 습도감지막의 결정구조 특성

그림 3은 열처리 온도에 따른 막의 결정구조를 나타낸다. 그림으로부터 열처리 온도가 높아감에 따라서 Sn 이온 피크와 Ti 이온 피크의 intensity가 강해지고 있음을 알 수 있다. 또한 Ti 이온의 일부는 열처리 온도가 600[°C]일 때 어느 특정각도에서 anatase상을 유지하다가 700[°C], 800[°C]로 높아짐에 따라서 anatase상이 사라지고 다른 각도에서 rutile상이 나타나는 현상을 보이고 있으며[7], Sn 이온은 열처리 온도가 증가함에 따라서 intensity가 강해지고 있음을 알 수 있다.

또한 그림으로부터 Sn⁴⁺의 이온 반경은 0.71[Å], Ti⁴⁺의 이온 반경은 0.68[Å]으로서, 이온 반경이 거의 비슷한 Ti⁴⁺ 이온의 일부가 Sn⁴⁺ 사이트에 치환되었을 것으로 생각한다.

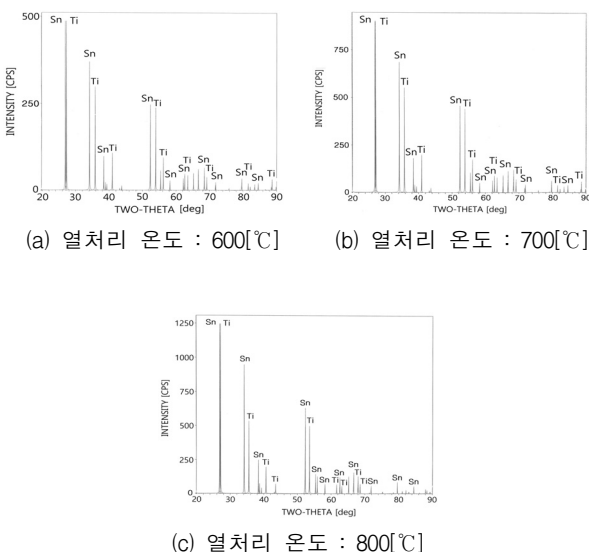


그림 3 열처리 온도에 따른 막의 결정구조 특성
 Fig. 3 Crystalline Structure Properties of Films according to Heat Treatment Temperature

3.3 습도감지 특성

3.3.1 측정주파수에 따른 상대습도 대 커패시턴스 특성

그림 4, 5, 6은 측정온도가 각각 25[°C], 45[°C], 65[°C]일 때, 측정주파수에 따른 상대습도 대 커패시턴스 특성을 나타낸다. 그림 4, 5, 6의 열처리 온도 분석결과로부터, 습도감지 특성이 전반적으로 우수하지 않은 800[°C]는 제외한 상태에서, 그림 4(측정온도가 25[°C])에서는 상대습도에 따른 커패시턴스 변화량이 600[°C], 선형도가 700[°C]일 때 우수한 특성을 보였다. 그림 5(측정온도가 45[°C])에서는 상대습도에 따른 커패시턴스 변화량과 선형도가 700[°C], 히스테리시스가 600[°C]일 때 우수한 특성을 보였다. 또한 그림 6(측정온도가 65[°C])에서는 상대습도에 따른 커패시턴스 변화량과 선형도가 600[°C], 히스테리시스가 700[°C]일 때 우수한 특성을 보였다.

그림 4, 5, 6으로부터 저주파 영역으로 갈수록 커패시턴스 변화가 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 그림 7에서 저주파 영역으로 갈수록 물분자가 소자와 전극 사이에서 응축되어 relaxation time constant($\tau=ReCe$)값이 작게 되기 때문이며, 고주파 영역으로 갈수록 기공에 흡착되거나 응축된 물분자의 Ra, Ca 성분 에 의해 relaxation이 일어나며 이때의 relaxation time constant($\tau=RaCa$)는 저주파 영역보다 크다. 저주파 영역에서 τ 가 작다는 것은 mobile carrier가 움직이는데 시간이 많이 걸리지 않는다는 것을 의미하고 이는 carrier가 움직이기 쉬워 커패시턴스 증가가 크다는 것으로 생각할 수 있다.

일반적으로 저주파 영역에서 커패시턴스 변화가 큰 것은 다공질층 내에서 큰 유전상수를 갖는 물에 대한 유전분극이 증가하고 공기가 점유하는 체적이 감소하게 되어 물과 다공

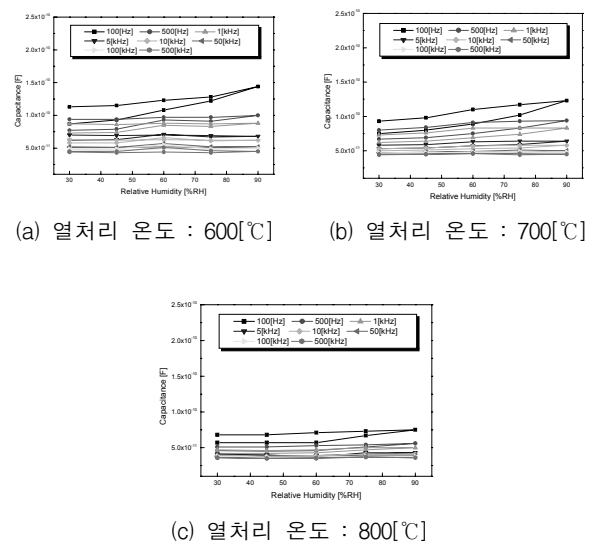


그림 4 측정주파수에 따른 상대습도 대 커패시턴스 특성 (측정온도 : 25[°C])
 Fig. 4 Relative Humidity vs. Capacitance Properties according to Measuring Frequency (Measuring Temperature : 25[°C])

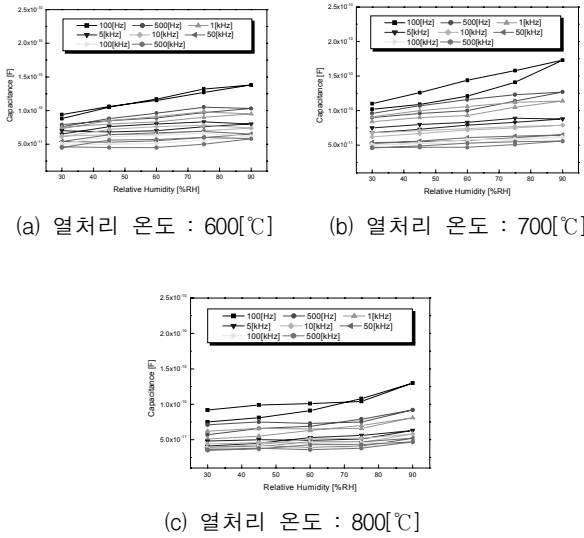


그림 5 측정주파수에 따른 상대습도 대 커패시턴스 특성 (측정온도 : 45[°C])
Fig. 5 Relative Humidity vs. Capacitance Properties according to Measuring Frequency (Measuring Temperature : 45[°C])

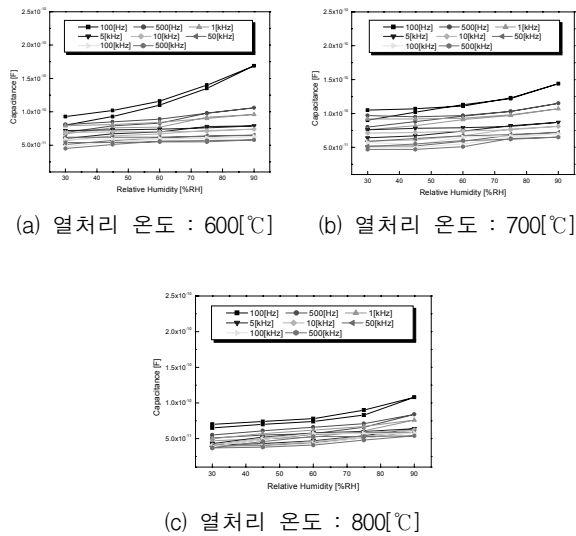
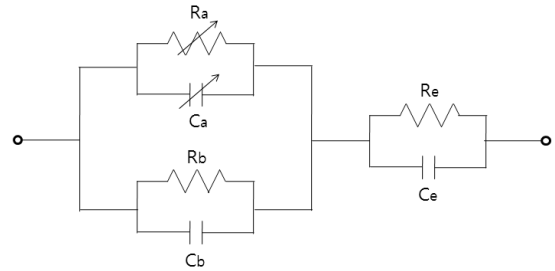


그림 6 측정주파수에 따른 상대습도 대 커패시턴스 특성 (측정온도 : 65[°C])
Fig. 6 Relative Humidity vs. Capacitance Properties according to Measuring Frequency (Measuring Temperature : 65[°C])

질층으로 구성된 유전체로부터 경계면 분극효과가 크게 나타나기 때문이다. 또한 물의 분극을 완화시키는데는 어느 정도의 시간이 소요되는데 저주파 영역에서는 분극이 전계의 변화방향에 따라서 재배열되기 때문에 유전율의 상승으로 인하여 커패시턴스가 증가하지만, 고주파 영역에서는 분극이 전계의 변화방향을 따라가지 못하기 때문에 유전율 감소로 인하여 커패시턴스가 감소하는 것이다.

그림 4, 5, 6으로부터 물을 탈착 시가 흡착 시보다 전체적으로 커패시턴스가 높게 나타났다. 이는 처음 흡착 시에는 상대습도를 30→45→60→75→90[%RH]로 높였다가 나중 탈착 시에는 90→75→60→45→30[%RH]로 낮추었기 때문에, 물을 흡착 시에는 습도감지막에 처음으로 물분자가 흡착되어 탈착에 비해 상대적으로 커패시턴스가 낮게 나타나는 반면, 물을 탈착 시에는 아무리 탈착시킨다고 하더라도 이미 흡착된 물분자가 습도감지막에 어느 정도 남아있어 커패시턴스가 흡착 시보다 상대적으로 높게 나타나기 때문이다.



여기서,
 Ra : 흡착된 물분자에 의한 저항
 Rb : 상대습도 0[%RH]에서 측정한 소자 자체의 저항
 Re : 전극의 저항
 Ca : 흡착된 물분자에 의한 커패시턴스
 Cb : 상대습도 0[%RH]에서 측정한 소자 자체의 커패시턴스
 Ce : 전극의 커패시턴스

그림 7 습도센서의 등가회로
Fig. 7 Equivalent Circuit of Humidity Sensor

기체와 고체 표면의 계면에서 발생하는 흡착의 형태는 크게 2가지이다. 그중 첫 번째는 분자 상호 간에 van der Waals힘이나 수소 결합을 포함하는 물리적 흡착은 기체와 고체 표면 사이의 약한 상호 작용으로서 화학 결합을 하지 않은 상태이다. 즉 흡착 에너지가 10[kJ/mol] 이하로 작아서 낮은 온도와 비교적 높은 기체 압력을 이용해야 하지만 활성화 에너지가 거의 필요 없기 때문에 흡착 평형에 도달하는 속도가 매우 빠르다. 두 번째는 화학적 흡착으로서 흡착 에너지가 -40~-400[kJ/mol] 정도로 많은 활성화 에너지를 필요로 한다. 또한 고체 표면 원자와 흡착 물질 사이의 원자 결합력이 강해서 그 결합력이 원자들 상호 간의 결합력

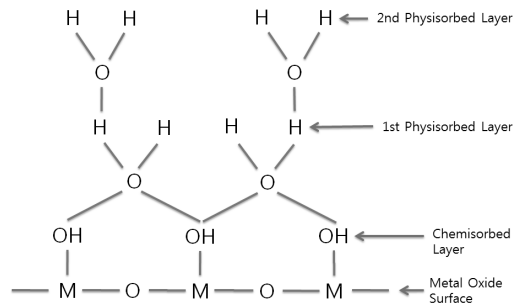


그림 8 금속산화물에서의 습도감지 기구
Fig. 8 Humidity Sensing Mechanism of Metal Oxide

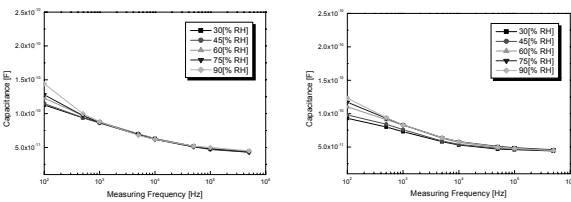
과 비슷하다.

그림 8에서 알 수 있듯이 첫 번째 물리 흡착층에서의 물 분자들은 2개의 표면 수산기와 결합되어 얼음과 비슷한 구조이기 때문에 물분자의 이동이 어렵지만, 두 번째 물리 흡착층에서는 물분자들이 1개의 표면 수산기와 결합되어 액체와 비슷한 구조이기 때문에 물분자들의 이동이 첫 번째 물리 흡착층보다 쉽다. 이와 같은 이유로 인하여 유전상수 또는 전기 전도도가 증가하게 된다.

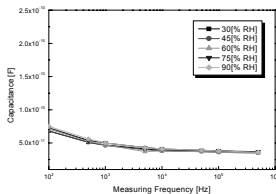
3.3.2 상대습도 변화에 따른 측정 주파수 대 커패시턴스 특성

그림 9, 10, 11은 측정온도가 각각 25[°C], 45[°C], 65[°C] 일 때 상대습도에 따른 측정주파수 대 커패시턴스 특성을 나타낸다. 그림 9, 10, 11의 열처리 온도 분석결과로부터, 습도감지특성이 전반적으로 우수하지 않은 800[°C]는 제외된 상태에서, 그림 9(측정온도가 25[°C])에서는 상대습도에 따른 커패시턴스 변화량과 선형도가 600[°C]일 때 우수한 특성을 보였다. 그림 10(측정온도가 45[°C])에서는 상대습도에 따른 커패시턴스 변화량과 선형도가 700[°C]일 때 우수한 특성을 보였다. 또한 그림 11(측정온도가 65[°C])에서는 상대습도에 따른 커패시턴스 변화량이 600[°C], 선형도가 700[°C]일 때 우수한 특성을 보였다.

그림 9, 10, 11로부터 상대습도가 증가함에 따라서 커패시턴스가 증가하는 현상을 보인다. 이는 저습도 영역에서부터 전극 표면에 공간 전하분극으로 인하여 이온들이 축적되기 시작하는데 고습도 영역으로 갈수록 축적되는 이온의 양이 더욱 더 많아져서 커패시턴스값이 증가하게 된다. 또한 측정온도가 25[°C]일 때보다 45[°C], 65[°C]일 때가 측정주파수에 따른 커패시턴스 변화량이 큰 것으로 나타났다.



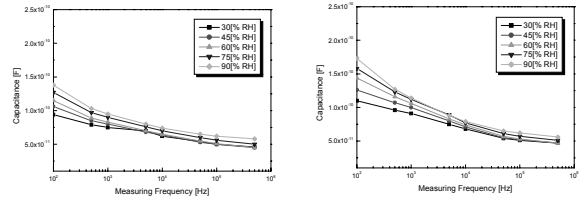
(a) 열처리 온도 : 600[°C] (b) 열처리 온도 : 700[°C]



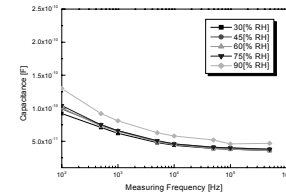
(c) 열처리 온도 : 800[°C]

그림 9 상대습도에 따른 측정주파수 대 커패시턴스 특성 (측정온도 : 25[°C])

Fig. 9 Measuring Frequency vs. Capacitance Properties according to Relative Humidity (Measuring Temperature : 25[°C])



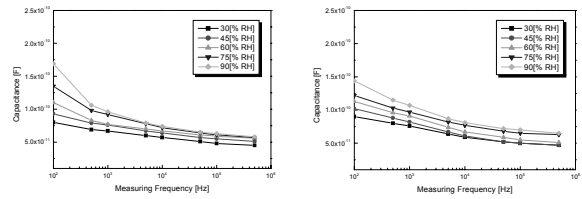
(a) 열처리 온도 : 600[°C] (b) 열처리 온도 : 700[°C]



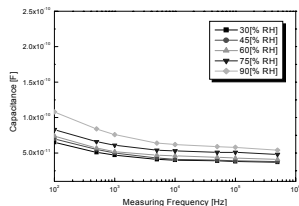
(c) 열처리 온도 : 800[°C]

그림 10 상대습도에 따른 측정주파수 대 커패시턴스 특성 (측정온도 : 45[°C])

Fig. 10 Measuring Frequency vs. Capacitance Properties according to Relative Humidity (Measuring Temperature : 45[°C])



(a) 열처리 온도 : 600[°C] (b) 열처리 온도 : 700[°C]



(c) 열처리 온도 : 800[°C]

그림 11 상대습도에 따른 측정주파수 대 커패시턴스 특성 (측정온도 : 65[°C])

Fig. 11 Measuring Frequency vs. Capacitance Properties according to Relative Humidity (Measuring Temperature : 65[°C])

그림 12로부터 금속 이온과 산소 결합보다 금속 이온과 수산기의 결합능이 더 강하여 Sn에 수산기가 결합되고 다시 소자에 가해지는 열에너지로부터 식 (1)처럼 수산기가 전리될 때 전자가 생성되므로 n형 반도체의 carrier가 증가한다. 즉 공기 중에 상대습도가 높아지면 carrier 농도가 증가하고 이로 인해 전기전도 현상이 증가한다고 생각한다.

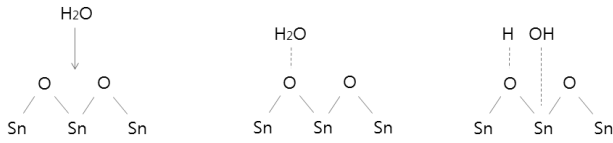


그림 12 SnO₂ 막의 물분자 흡착 모델
 Fig. 12 Adsorption Model of Water Molecule on SnO₂ Films

4. 결 론

- [1] 미세구조특성 분석결과로부터, 열처리 온도가 증가함에 따라서 미소하나마 입자의 크기가 커지는 것을 보이고 있으며, 열처리 온도 700[°C]일 때 기공도가 가장 큰 것을 알 수 있다.
- [2] 결정구조특성 분석결과로부터, Ti 이온의 일부는 열처리 온도가 600[°C]일 때 어느 특정각도에서 anatase상이 유지하다가 700[°C], 800[°C]로 높아짐에 따라서 anatase상이 사라지고 다른 각도에서 rutile상이 나타나는 현상을 보이고 있으며, Sn 이온은 열처리 온도가 증가함에 따라서 intensity가 강해지고 있음을 알 수 있다.
- [3] 습도감지특성 분석결과로부터, 습도감지막의 커패시턴스 변화량, 선형도 및 히스테리시스 특성을 종합적으로 고려해볼 때 열처리 온도 600[°C], 700[°C]일 때가 습도감지특성이 우수한 것으로 나타났다.
- [4] 습도감지특성 분석결과로부터, 저주파 영역으로 갈수록 커패시턴스 변화가 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 저주파 영역에서 τ가 작아서 mobile carrier가 움직이는데 시간이 많이 걸리지 않는다는 것을 의미하고 이는 carrier가 움직이기 쉬워 커패시턴스 증가가 크다는 것으로 생각할 수 있다.
- [5] 습도감지특성 분석결과로부터, 상대습도가 증가함에 따라서 커패시턴스가 증가하는 현상을 보인다. 이는 저습도 영역에서부터 전극 표면에 공간 전하분극으로 인하여 이온들이 축적되기 시작하는데 고습도 영역으로 갈수록 축적되는 이온의 양이 더욱 더 많아져서 커패시턴스값이 증가하게 된다.

References

- [1] J. Fraden, Handbook of Modern Sensors : Physics, Designs and Application, 2nd, AIP Press, Vol. 7, pp. 497~503, 1997.
- [2] K. D. Schierbaum, "Engineering of Oxide Surfaces and Metal/Oxide Interfaces for Chemical Sensors Resent Trends", Sensors and Actuators B, Vol. 24~25, pp. 239~247, 1995.
- [3] K. Ihokura and J. Watson, "The Static Oxide Gas Sensors", First Edition CRC Press, pp. 58~59, 1994.
- [4] K. Ishibashi, Y. Nosaka, K. Hashimoto and A.

Fujishima, J. Physical Chemistry B, Vol. 102, pp. 2117~2120, 1998.

- [5] T. Hyodo, T. Mori, A. Kawahara, H. Katsuki, Y. Shimizu and M. Egashima, "Gas Sensing Properties of Semiconductor Heterolayer Sensors Fabricated by Slide-off Transfer Printing", Sensors and Actuators B, Vol. 77, Issue 1~2, pp. 41~47, 2001.
- [6] Y. C. Yeh, T. Y. Tseng and D. A. Chang, "Electrical Properties of TiO₂-K₂Ti₆O₁₃ Porous Ceramic Humidity Sensor", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, No. 7, pp. 1992~1998, 1990.
- [7] D. H. You, "Properties of TiO₂-V₂O₅ Ceramics Prepared by Sol-Gel Method", Trans. KIEE, Vol. 56, No. 7, pp. 1255~1260, 2007.

저 자 소 개



유도현 (柳道鉉)

1965년 10월 20일생. 1990년 인하대학교 공과대학 전기공학과 졸업(공학사). 1992년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1996년 인하대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991, 1992년 일본 Akita 대학 객원연구원. 1995년~현재 신안산대학교 전기과 부교수
 Tel. : 031-490-6056
 Fax. : 031-490-6055
 E-Mail : dhyou@sau.ac.kr