

A Study on Metal Oxide based Humidity Sensor with Excellent Humidity Sensing Characteristics

유도현*
(Do-Hyun You)

Abstract - TiO_2 films are fabricated using silk printing method. Heat treatment temperature of films is $600[^\circ C]$. From the analysis of microstructure, grain size of TiO_2 films is about $0.2\sim 0.3[\mu m]$. Thickness of films is $30.19[\mu m]$ and surface uniformity of films is good. From the analysis of crystalline structure, TiO_2 films transform anatase phase to rutile phase. Capacitance of films increases according to increase relative humidity and decrease measuring frequency. Hysteresis characteristics of capacitance and impedance are best at $45[\%RH]$ and $75[\%RH]$ respectively. Impedance of films increases according to decrease measuring frequency.

Key Words : TiO_2 Films, Silk Printing Method, Microstructure, Crystalline Structure, Hysteresis Characteristics,

1. 서론

최근 들어 반도체 산업이 급속하게 발전함에 따라서 전기·전자소자분야에서의 소형화와 집적화가 활발히 진행되고 있는 가운데[1], 여러 환경에서 습기의 양을 조절하거나 측정하기 위해 습도센서의 중요성이 더욱 커지고 있다. 이러한 습도센서는 계속적으로 여러 분야에 적용될 것으로 예상되며 주로 에너지 소비절감이라든가 다양한 환경제어용 장치들의 신뢰성을 향상시키기 위해 개발되고 있다[2].

화학센서의 일종인 습도센서는 가전, 의료, 자동차, 계측, 산업 및 농업분야의 생산공정 등에서 습도를 정밀하게 측정하고 제어하는데 이용되고 있으며 이때 습도센서는 외부 조건에 안정적이고 습도감지특성이 우수해야 한다. 습도센서는 고체 전해질, 세라믹스, 유기 고분자 등을 감습재료로 한 벌크형, 후막형 및 박막형 센서가 있는 가운데[3], 감도의 민감성, 속응성, 재현성, 내구성이 좋고 전기회로를 구성하는데 적합해야 하며 잘 오염되지 않고 온도 의존성이 낮으며 가격이 저렴해야 한다. 이에 습도감지특성을 향상시키기 위해서 습도감지물질에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있으며 물리적, 화학적 및 열적으로 안정한 금속산화물에 대한 관심이 고조되고 있다.

여러 학자들이 금속산화물에 물분자가 흡착되었을 때 미세기공의 분포제어기법에 대해 보고하고 있는 가운데, 금속산화물계 습도센서는 수백도 이상의 온도에서도 안정된 특성을 갖기 때문에 습도센서로서 적합한 것으로 알려져 있다. 또한 금속산화물은 재료의 조성, 화학구조, 형상 및 그레

인 분포를 쉽게 제어할 수 있는 이점이 있다.

금속산화물을 대기 중에 노출시키면 대기 중에 함유된 물분자가 화학 흡착하여 금속산화물 표면에 O-H기가 형성된다. 이때 O-H기는 금속산화물 표면 위에서 촉매작용을 일으키기도 하고 선택적 가스 흡착성, 친수성 및 전기전도도 등에 영향을 미치는 것으로 밝혀지고 있다.

금속산화물 중의 하나인 TiO_2 는 금속과잉형 n형 반도체로서, 산소결자결함 발생으로 인해 자유전자를 생성하고 O-H기의 흡착으로 인해 높은 감습도를 가지며 기공도를 쉽게 조절할 수 있는 동시에, 아나타제상에서 안정한 루타일상으로의 상전이가 쉬운 특징이 있다. TiO_2 는 전기적, 광학적 특성을 모두 만족하고 있는 금속산화물로서, 습도센서, 가스센서, 광촉매, 절연체, 색소 및 태양전지에 이르기까지 여러 분야에서 활용이 많은 물질이다. 또한 아나타제상, 루타일상 및 브룩카이트상과 같은 3가지의 결정상이 존재하며, 이중 아나타제상과 루타일상은 정방정계(tetragonal system)의 결정구조를, 브룩카이트상은 사방정계(orthorhombic system)의 결정구조를 갖는다. Ti 이온과 산소원자와의 결합방식에 따라서 각기 다른 결정상 및 물리화학적 특징을 갖는 가운데[4], 아나타제상과 루타일상은 상호대칭적인 구조에 있는 산소와 결합하는 반면, 브룩카이트상은 비대칭적인 구조에 있는 산소와 결합하는 구조를 갖는다. 또한 사방정계 결정구조를 갖는 브룩카이트상은 고압의 특수한 경우에만 존재하므로 자연계에 존재하는 결정상은 아나타제상과 루타일상이 있다.

따라서 본 연구에서는 diethylene glycol monobutyl ether acetate 파우더와 ethyl cellulose 50 용액을 일정 비율로 혼합하여 바인더를 준비하고, 준비된 바인더에 TiO_2 파우더를 혼합함으로써 TiO_2 슬러리를 제작하였다. 제작한 슬러리를 실크 프린팅법에 의해 IDT전극이 인쇄된 Al_2O_3 기판 위에 도포하여 TiO_2 막을 제작하였다. 막을 결정화시키기 위해 열

* 정 회 원 : 안산공과대학 전기과 부교수

E-mail : dhyou@act.ac.kr

접수일자 : 2009년 6월 27일

최종완료 : 2009년 8월 27일

처리하였으며, 열처리한 시편의 미세구조특성, 결정구조특성 및 주파수와 상대습도에 따른 커패시턴스 및 임피던스 특성에 대해 연구하였다.

2. 실험

2.1 시편제작방법

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 90[wt%] : 10[wt%]로 혼합한 후, bubbler에서 1,000[rpm]으로 30분동안 회전시켜 두 물질을 혼합한 바인더를 제작한다. 제작한 바인더에 TiO₂ 파우더를 섞었으며 이때 TiO₂ 파우더와 바인더의 혼합비율을 50[wt%] : 50[wt%]로 한 후, 혼합액을 bubbler에 넣고 균질하게 섞이도록 bubbler를 2,000[rpm]으로 30분동안 회전시켜 TiO₂ 슬러리를 제작하였다.

실크 프린터 위에 IDT 전극이 인쇄된 Al₂O₃ 기판을 고정시키고 실크 스크린망 위에 제작한 TiO₂ 슬러리를 부은 후 일정한 힘으로 압력을 가하여 Al₂O₃ 기판위에 TiO₂막을 제작하였다. 제작한 TiO₂막을 결정화시키기 위해 전기로에서 600[°C]의 온도로 열처리하였고 이때 실온에서 600[°C]까지 올리는데 걸리는 시간은 2시간 30분, 600[°C]에서 1시간 유지, 600[°C]에서 실온까지 내리는데 걸리는 시간은 3시간으로 하였으며, TiO₂막의 제작방법을 그림 1에 나타낸다.

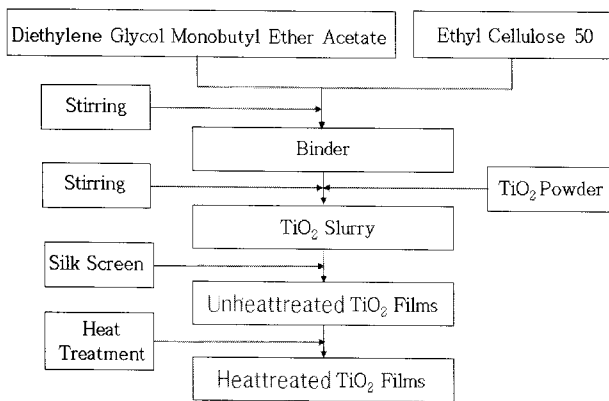


그림 1 TiO₂막 제작방법

Fig. 1 Fabrication method of TiO₂ films

2.2 측정방법

2.2.1 미세구조 특성 측정

TiO₂막의 미세구조와 막두께를 측정하기 위하여 주사전자현미경을 이용하였다. 측정을 위하여 scanning electron microscope(hitachi, S-4300)를 이용하였다. 측정조건은 가속전압 15[kV], working distance 15.4[mm]로 하였으며, 이온

전류가 흐르는 ion coater를 이용해 Au 코팅을 한 후 가속 전자 조사 시 발생하는 2차전자(secondary electron)를 이용하여 측정하였다.

2.2.2 결정구조 특성 측정

TiO₂막을 열처리한 후 결정화 거동을 조사하기 위해 XRD(rigaku, D/MAX 2200V/PC)를 이용하였다. 측정조건은 주사범위 20⁰~70⁰, 인가전압 40[kV], 인가전류 40[ma], 타겟 Cu, 주사속도 4[deg/분]으로 하였다.

2.2.3 전기적 특성 측정

상대습도와 측정주파수에 따른 커패시턴스와 임피던스 변화를 측정하기 위하여 측정온도 25[°C], 측정주파수 1~500[kHz], 상대습도 30~90[%RH]로 변화시켰다. 또한 물을 흡착 시와 탈착 시 상대습도에 따른 커패시턴스와 임피던스 변화를 측정하기 위하여 상대습도를 각각 30→45→60→75→90[%RH]와 90→75→60→45→30[%RH]로 변화시켰다. 측정을 위하여 항온항습조(espec, SH641), LCR 미터(agilent, 4284A)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세구조분석

그림 2는 TiO₂막의 미세구조에 대해 나타낸다. 사진으로부터 그레인 크기는 0.2~0.3[μm]정도를 나타내는데, 이는 막의 열처리온도가 600[°C]로서 아나타제상에서 루타일상으로 상전이가 진행 중이기 때문에 아직까지는 그레인 성장이 활발하게 이루어지지 않고 있음을 알 수 있다. 또한 그레인 크기가 비교적 균일하며 그레인과 그레인 사이의 기공도가 높은 모습을 보이고 있다.

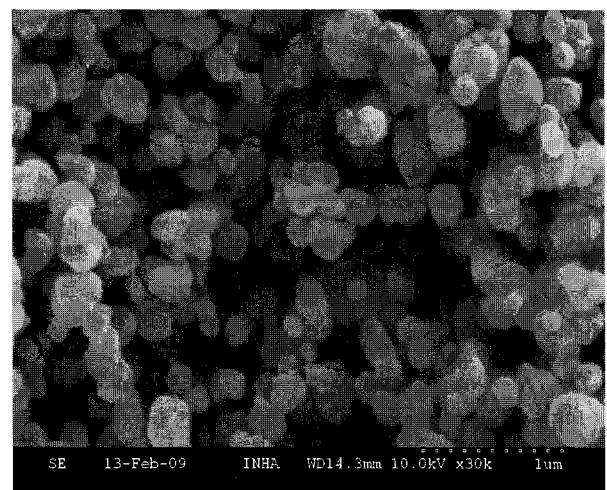


그림 2 TiO₂막의 미세구조

Fig. 2 Microstructure of TiO₂ films

그림 3은 TiO₂ 막두께에 대해 나타낸다. 사진으로부터 막의 두께는 30.19[μm]로서 일반적인 박막보다는 두껍다는 것을 알 수 있다. 이는 본 실험에 이용한 막제작방법은 실크프린팅법으로써, 다른 박막제작방법인 sputtering법, CVD법, PVD법, spinning법 및 dipping법보다 막두께가 두꺼운 도포막이기 때문이다. 또한 막의 평탄도는 양호한 상태를 나타내고 있으며 막이 Al₂O₃기판에 잘 부착되어 있음을 알 수 있다.

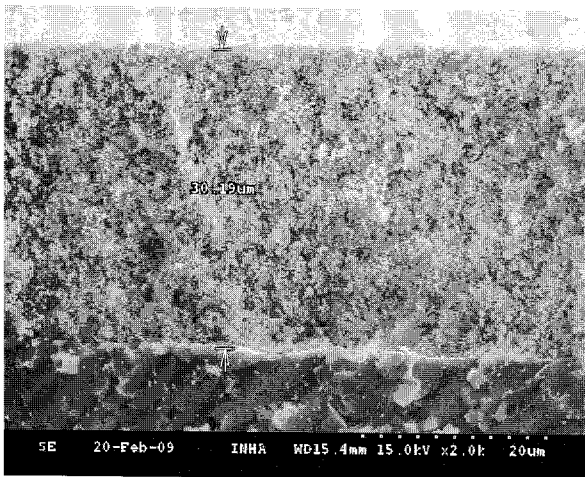


그림 3 TiO₂ 막두께
Fig. 3 Thickness of TiO₂ films

3.2 결정구조 분석

그림 4는 TiO₂막의 결정구조에 대해 나타낸다. 그림으로부터 아나타제상은 회절각 26.04°의 (105), 65.18°의 (420), 66.88°의 (318) 회절피크로 확인할 수 있으며 루타일상은 28.02°의 (220), 35.56°의 (112), 38.74°의 (202), 43.80°의 (410), 45.00°의 (222), 52.98°의 (421), 54.84°의 (113), 57.90°의 (402), 68.58°의 (303) 회절피크로 확인할 수 있다. 또한 회절각에 대한 intensity는 아나타제상인 경우, 각각 166.667, 153, 153, 이고, 루타일상인 경우, 각각 346.667, 456.667, 426.667, 430, 166.667, 236.667, 226.667, 653, 243. 이다.

You 등[5]에 의하면 TiO₂는 50[°C]부터 300[°C]까지는 아몰퍼스상으로 존재하다가 400[°C]부터 아나타제상이 확인되면서 결정화하기 시작하여 500[°C]에서는 전부 아나타제상으로 상전이하였으며 일부 루타일상이 보이기 시작하면서 상전이하여 700[°C]이상부터는 전부 루타일상으로 상전이한다고 보고하고 있다. 따라서 본 실험에서 TiO₂막의 열처리온도는 600[°C]로서, 그림의 결과가 You 등이 보고한 결과와 일치하고 있으며, 이때의 열처리 과정은 결정상의 성장뿐만 아니라, 입자와 입자 간의 결합, defect 구조의 제거에도 크게 기여한다고 알려져 있다.

TiO₂는 아나타제상, 루타일상 및 브룩카이트상의 결정구조를 가지고 있는 가운데, 아나타제상과 브룩카이트상 구조는 준안정적인 결정상이며, 루타일상은 안정적인 결정상으로 알려져 있다[6]. 아나타제상은 광화학작용을 하여 루타일상보다 광촉매 효율, 전기전도도가 높은 반면, 루타일상은 매우

안정적이고 독성이 없으며 excess metal을 함유하는 nonstoichiometric 구조로서 결정 내의 oxygen vacancy나 interstitial metal atom으로 인해 전기전도도가 변한다.

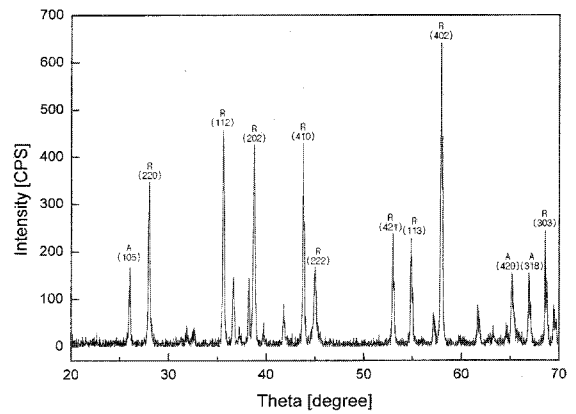


그림 4 TiO₂막의 결정구조
Fig. 4 Crystalline structure of TiO₂ films

3.3 감습특성 분석

3.3.1 커패시턴스 특성 분석

그림 5는 측정주파수에 따른 상대습도 대 커패시턴스 특성을 나타낸다. 그림으로부터 저주파 영역에서 커패시턴스 변화가 큰 것을 확인할 수 있었다. 이는 그림 6에서 저주파 영역으로 갈수록 물분자가 소자와 전극 사이에서 응축되어 relaxation time constant(τ=ReCe)값이 작게 되기 때문이며, 고주파 영역으로 갈수록 기공에 흡착되거나 응축된 물분자의 Ra, Ca 성분에 의해 relaxation이 일어나며 이때의 relaxation time constant(τ=RaCa)는 저주파 영역보다 크다. τ가 크다는 것은 mobile carrier가 움직이는데 시간이 오래 걸리는 것을 의미하고 이는 carrier가 움직이기 어려워 커패시턴스 증가가 작다는 것으로 생각할 수 있다[7],[8].

습도센서소자에 물이 흡, 탈착 시, 커패시턴스의 변화가 어느 정도인지 알기 위해 히스테리시스값을 측정하였다. 히스테리시스값을 측정하기 위해 25[°C], 10[kHz]에서 측정하였고 계산식은 다음과 같다.

$$\text{히스테리시스[\%]} = \left(\frac{C_H}{C_{90} - C_{30}} \right) \times 100$$

여기서, C_H는 주어진 상대습도에서 물을 흡착과 탈착 시 커패시턴스의 최대 편차, C₉₀은 상대습도 90[%RH]일 때의 커패시턴스값, C₃₀은 상대습도 30[%RH]일 때의 커패시턴스값을 나타낸다.

따라서 상대습도가 45[%RH]일 때, 물을 흡착 시 커패시턴스값은 45.9[pF], 물을 탈착 시 커패시턴스값은 46.2[pF]이므로 C₄₅값은 0.3[pF]이고, C₉₀값은 54.1[pF], C₃₀값은 43.8[pF]이기 때문에 히스테리시스는 2[%], 상대습도가 60[%RH]일 때, 물을 흡착 시 커패시턴스값은 50.0[pF], 물

을 탈착 시 커패시턴스값은 51.8[pF]이고 C_{60} 값은 1.8[pF]이므로 히스테리시스값은 17[%], 상대습도가 75[%RH]일 때, 물을 흡착 시 커패시턴스값은 50.5[pF], 물을 탈착 시 커패시턴스값은 52.8[pF]이고 C_{75} 값은 2.3[pF]이므로 히스테리시스값은 13[%]를 나타냈다. 따라서 상대습도가 45[%RH]일 때 커패시턴스의 히스테리시스 특성이 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다.

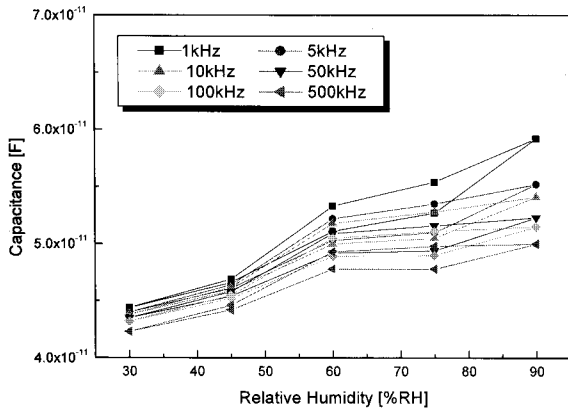
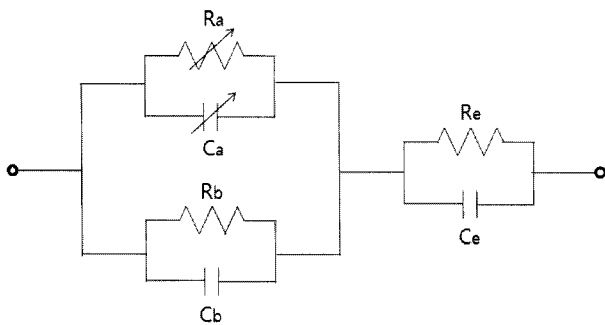


그림 5 측정주파수에 따른 상대습도 대 커패시턴스 특성
Fig. 5 Capacitance characteristics vs. relative humidity according to measuring frequency



여기서,

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

그림 6 습도센서의 등가회로
Fig. 6 Equivalent circuit of humidity sensor

그림 7과 8은 물을 흡착과 탈착 시, 상대습도에 따른 측정주파수 대 커패시턴스 특성을 나타낸다. 그림으로부터 상대습도가 증가함에 따라서 커패시턴스가 증가하는 현상을

보이고 있다. 이는 liquid like network 형태로 있는 물분자가 수소결합한 다중층에 기인한다[9]. 물분자와 같은 극성분자가 흡착되면 유전상수가 증가하고 유전상수의 증가로 인해 물의 해리에너지는 감소된다. 또한 상대습도가 증가함에 따라서 TiO₂막 표면으로 유입되는 물분자의 양이 증가하게 되고 흡착된 물분자는 TiO₂막 표면에서 쌍극자를 형성하면서 유전율이 증가하여 결과적으로 커패시턴스는 증가하게 된다.

일반적으로 금속산화물의 표면은 표면 수산기인 OH⁻기로 덮혀 있으며[10], OH⁻가 덮혀 있는 표면층 위에 수증기가 수소결합을 이루며 흡착된다. 이와 같은 OH⁻기는 일반적으로 400[°C] 정도의 고온에서 cleaning해야 할 정도로 강한 결합을 이루고 있지만, OH⁻기 위에 물리흡착된 물분자는 약한 수소결합을 이루고 있어서 온도를 약간 높이거나 압력을 약간 낮추어도 쉽게 제거된다.

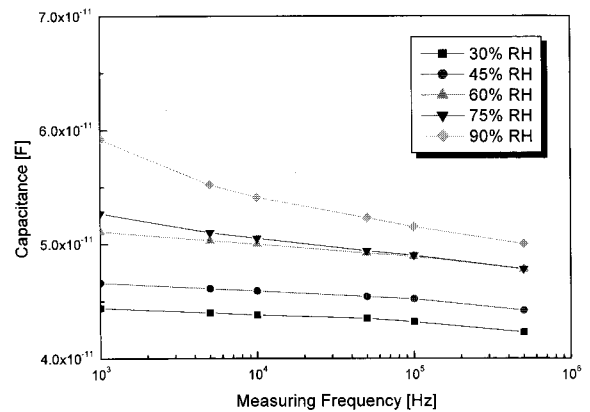


그림 7 상대습도에 따른 측정주파수 대 커패시턴스 특성 (물을 흡착 시)
Fig. 7 Capacitance characteristics vs. measuring frequency according to relative humidity(adsorption)

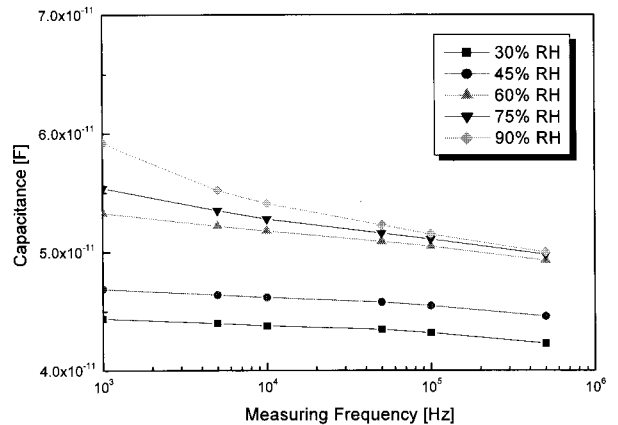


그림 8 상대습도에 따른 측정주파수 대 커패시턴스 특성 (물을 탈착 시)
Fig. 8 Capacitance characteristics vs. measuring frequency according to relative humidity(desorption)

3.3.2 임피던스 특성 분석

그림 9는 측정주파수에 따른 상대습도 대 임피던스 특성을 나타낸다. 그림으로부터 저주파 영역으로 갈수록 임피던스 변화가 크고 임피던스가 높은 것을 알 수 있다. 또한 습도센서소자에 물이 흡, 탈착 시, 임피던스의 변화가 어느 정도인지 알기 위해 히스테리시스값을 측정하였다. 히스테리시스값을 측정하기 위해 25[°C], 5[kHz]에서 측정하였고 계산식은 다음과 같다.

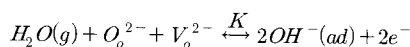
$$\text{히스테리시스}[\%] = \left(\frac{Z_H}{Z_{30} - Z_{90}} \right) \times 100$$

여기서, Z_H 는 주어진 상대습도에서 물을 흡착과 탈착 시 임피던스의 최대 편차, Z_{30} 은 상대습도 30[%RH]일 때의 임피던스값, Z_{90} 은 상대습도 90[%RH]일 때의 임피던스값을 나타낸다.

따라서 상대습도가 45[%RH]일 때, 물을 흡착 시 임피던스값은 72.3[MΩ], 물을 탈착 시 임피던스값은 67.9[MΩ]이므로 Z_{45} 값은 4.4[MΩ]이고, Z_{30} 값은 72.5[MΩ], Z_{90} 값은 8.6[MΩ]이기 때문에 히스테리시스는 6[%], 상대습도가 60[%RH]일 때, 물을 흡착 시 임피던스값은 41.5[MΩ], 물을 탈착 시 임피던스값은 31.7[MΩ]이고 Z_{60} 값은 9.8[MΩ]이므로 히스테리시스값은 15[%], 상대습도가 75[%RH]일 때, 물을 흡착 시 임피던스값은 20.9[MΩ], 물을 탈착 시 임피던스값은 18.6[MΩ]이고 Z_{75} 값은 2.3[MΩ]이므로 히스테리시스값은 3[%]를 나타냈다. 따라서 상대습도가 75[%RH]일 때 임피던스의 히스테리시스 특성이 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다.

센서의 전도유형을 크게 전자전도형과 이온전도형으로 분류할 수 있는 가운데, 전자전도형에서는 물분자가 전자를 공급하는 역할을 하며 막 표면에서 화학적으로 흡착한다. 또한 금속산화물이 n형 또는 p형인가에 따라서 센서의 임피던스가 감소하거나 증가한다. 한편 이온전도형에서는 미세기공 내에서의 물리적 흡착과 모세관 응축현상으로 인해 전도도가 증가하며, 소자의 고유저항과 기공구조에 의해 감습특성이 영향을 받는다.

TiO₂는 도너의 활성화 에너지가 0.02eV인 n형 반도체이므로 물분자의 흡착에 의해서 임피던스가 감소한다. 이는 TiO₂에 격자 간 원자로 있는 산소는 주위온도로 인해 가스 상태로 해리되어서 산소공공을 형성한다. 공기 중 산소의 물리 흡착과 물분자의 흡착은 아래와 같은 화학 흡착식을 만족한다.



여기서, V_o^{2-} 는 2개의 전자를 포획하는 산소 공공, K 는 반응상수이다.

그림 10과 11은 상대습도에 따른 측정주파수 대 임피던스 특성을 나타낸다. 그림으로부터 상대습도가 높아짐에 따라

서 임피던스는 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 상대습도가 증가함에 따라 막 표면에 물리흡착수의 양이 증가하기 때문이다. 또한 물을 흡착과 탈착 시 각각의 주파수에서 측정된 임피던스는 큰 차이를 보이지 않고 거의 일치하고 있다.

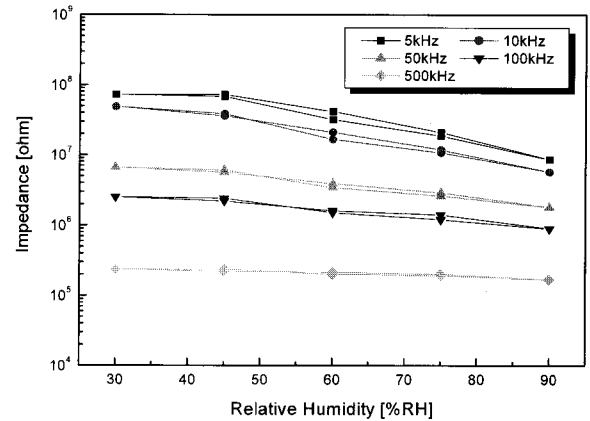


그림 9 측정주파수에 따른 상대습도 대 임피던스 특성
Fig. 9 Impedance characteristics vs. relative humidity according to measuring frequency

TiO₂막 표면으로 물분자의 흡착현상은 다음과 같이 설명할 수 있다. 고체 표면(TiO₂막)으로 유입된 기체(물분자)와의 반응은 (1) 기체와 고체의 경계층에서 고체 표면으로 확산에 의한 반응기체의 전달, (2) 고체 표면에서 반응기체의 흡착, (3) 고체 표면에서의 화학반응, (4) 표면으로부터 생성된 부반응물의 탈착, (5) 표면으로부터 생성된 부반응물의 기체로 확산과 같은 단계를 거친다. 일반적으로 기체가 고체 표면 또는 기체로의 확산은 반응 자체가 매우 빠르기 때문에 반응비율은 주로 (2), (3), (4)단계를 따른다. 이들 반응 단계 중 화학적으로 흡착된 기체 분자의 표면 반응은 거의 (3)단계에서 행해지고 그 때 흡착과 탈착은 평형상태에 도달한다.

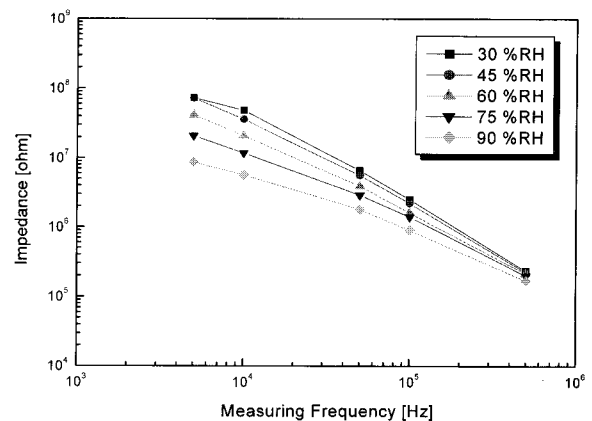


그림 10 상대습도에 따른 측정주파수 대 임피던스 특성 (물을 흡착 시)
Fig. 10 Impedance characteristics vs. measuring frequency according to relative humidity(adsorption)

기체와 고체 표면의 계면에서 일어나는 흡착 형태는 2가지로 생각해 볼 수 있다. 흡착 형태의 첫 번째로써 분자 상호 간에 반데르발스 힘이나 수소결합을 포함하는 물리 흡착은 기체 표면 사이의 약한 상호작용으로서 화학결합을 하지 않은 상태이다. 즉 흡착에너지가 작아서 낮은 온도와 비교적 높은 기체 압력을 이용해야 하지만, 활성화 에너지가 거의 필요 없기 때문에 흡착평형에 도달하는 속도가 매우 빠르다.

흡착 형태의 또 다른 형태인 화학 흡착은 매우 높은 활성화 에너지를 필요로 하며 표면 원자와 흡착 물질 간의 원자 결합력이 강하여 그 결합력이 원자들 상호 간 결합력과 유사하다.

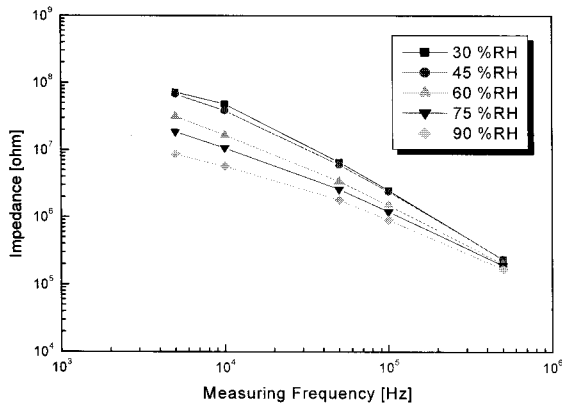


그림 11 상대습도에 따른 측정주파수 대 임피던스 특성 (물을 탈착 시)

Fig. 11 Impedance characteristics vs. measuring frequency according to relative humidity(desorption)

4. 결 론

본 연구에서는 실크 프린팅법에 의해 금속산화물인 TiO₂막을 제작한 후, 막의 미세구조, 결정구조 및 감습특성에 대해 검토하였다.

1. 미세구조 분석결과로부터, TiO₂막의 그레인 크기는 약 0.2~0.3[μm]정도이고, 그레인 크기는 비교적 균일한 모습을 보이고 있다.
2. 막두께 분석결과로부터, TiO₂ 막두께는 30.19[μm]를 나타내고 있으며, 막의 평탄도는 비교적 양호한 상태를 보이고 있다.
3. 결정구조 분석결과로부터, TiO₂막의 결정상은 아나타제상에서 루타일상으로 상전이하고 있는 가운데, 아나타제상은 회절각 26.04°의 (105), 65.18°의 (420), 66.88°의 (318) 회절피크로 확인할 수 있으며 루타일상은 28.02°의 (220), 35.56°의 (112), 38.74°의 (202), 43.80°의 (410), 45.00°의 (222), 52.98°의 (421), 54.84°의 (113), 57.90°의 (402), 68.58°의 (303) 회절피크로 확인할 수 있다. 또한 회절각에 대한 intensity는 아나타제상인 경우, 각각 166.667, 153.333, 153.333이고, 루타일상인 경우, 각각 346.667, 456.667, 426.667, 430, 166.667, 236.667, 226.667, 653.333,

243.333이다.

4. 커패시턴스 특성 분석결과로부터, 저주파 영역에서 커패시턴스 변화가 큰 것을 확인할 수 있으며, 물을 흡착과 탈착 시 히스테리시스 현상을 살펴보면, 상대습도가 45[%RH]일 때 2[%], 상대습도가 60[%RH]일 때 17[%], 상대습도가 75[%RH]일 때 13[%]를 나타냈다. 따라서 상대습도가 45[%RH]일 때 커패시턴스의 히스테리시스 특성이 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다.
5. 임피던스 특성 분석결과로부터, 저주파 영역으로 갈수록 임피던스 변화가 크고 임피던스가 높은 것을 알 수 있으며, 물을 흡착과 탈착 시 히스테리시스 현상을 살펴보면, 상대습도가 45[%RH]일 때 6[%], 상대습도가 60[%RH]일 때 15[%], 상대습도가 75[%RH]일 때 3[%]를 나타냈다. 따라서 상대습도가 75[%RH]일 때 임피던스의 히스테리시스 특성이 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J.S.Kim, Y.C.Oh, C.N.Cho, D.G.Lee, C.G.Shin and C.H.Kim, "Influence of Substrate Temperature of SCT Thin Film by RF Sputtering Method", Trans. KIEE, Vol.53C, No.10, pp.505-509, 2004.
- [2] J.T.Kim, B.S.Kim, C.S.Kim, D.H.You and D.C.Lee, "Fabrication and Characteristics of Humidity Sensing Device using TiO₂ Sol", Trans. KIEE, Vol.49C, No.2, pp.82-86, 2000.
- [3] B.G.Choi, C.K.Choi and S.J.Kim, "Humidity-Sensing Properties of RF Sputtered Vanadium Oxide Thin Films", Trans. KIEE, Vol.55C, No.10, pp.475-480, 2006.
- [4] S.Cassaignon, M.Koelsch and J.P.Jolivet, "From TiCl₃ to TiO₂ Nanoparticles(Anatase, Brookite and Rutile) : Thermo-hydrolysis and Oxidation in Aqueous Medium", Vol.68, Issues 5-6, pp.695-700, 2007.
- [5] D.H.Kang, N.H.Lee, J.S.Kim and D.C.Lee, "A Study on the Fabrication and the Electrical Properties of TiO₂ Thin Films by Sol-Gel Method", The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol.7, No.4, pp.325-330, 1994.
- [6] R.J.Kennedy and P.A.Stampe, "The Influence of Lattice Mismatch and Film Thickness on the Growth of TiO₂ on LaAlO₃ and SrTiO₃ Substrates", Journal of Crystal Growth, Vol.252, Issues 1-3, pp.333-342, 2003.
- [7] J.H.Park and S.J.Park, "Studies of the Impedance-Humidity Characteristics of TiO₂-V₂O₅ Humidity Sensor", Journal of the Korean Ceramic Society, Vol.27, No.4, pp.529-535, 1990.
- [8] K.Wakabayashi, S.Ohta, D.Takemori and K.Shirae, "Non-Linear Behavior of Glass Substrate in High Humidity", Proc. of Int. Meeting on Chemical Sensor Edited by T.Seiyama etc, Kodamsha LTD, Tokyo, pp.439-444, 1983.

- [9] T.Nitta, Z.Terada and S.Hayakawa, "Humidity-Sensitive Electrical Conductivity of $MgCr_2O_4-TiO_2$ Porous Ceramics", Journal of the American Ceramic Society, Vol.63, pp.295-300, 1980.
- [10] Z.M.Zarzebski, "Rutile, TiO_2 , Oxide Semiconductors", Pergamon Press, Oxford, New York, p.219, 2003.

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 안산공과대학 전기과 부교수

Tel : 031-490-6056

Fax : 031-490-6055

E-Mail : dhyou@act.ac.kr