

SOx 가스감지용 SAW 가스 센서 개발

이찬우, 노용래*, 정종식**, 백성기

Development of SAW Gas Sensor for Monitoring SOx Gas

Chanwoo Lee, Yongrae Roh*, Jongshik Chung** and Sunggi Baik

요 약

SOx 가스를 고감도로 감지할 수 있는 SAW 가스 센서를 개발하였다. 이는 SAW device 위에 SOx 가스에 감응하는 재료를 박막으로 증착함으로써 고감도의 마이크로 센서형으로 한 것이다. SOx 감응 재료로서 CdS 를 선정하였으며, 이를 SAW device 위에 박막화하기 위해 초음파 분무 노즐을 이용한 분무 열분해의 박막 증착공정을 응용하였다. 초음파 분무 노즐을 통하여 생성된 균일하고 미세한 입자들은 기관위에서 안정한 열분해 환경을 조성함으로써 센서 감응막을 위한 넓은 표면적의 박막을 증착 시켰는데 기관의 온도는 300℃ 내외에서 최소 50 nm수준의 결정립의 박막을 얻었다. 이렇게 하여 얻은 SAW 가스 센서는 SO₂ 가스에 감응하였으며 재현성도 보였다. 다른 가스의 존재하에서 SO₂ 가스에 대한 선택성에 관하여는 계속적인 연구가 필요하다.

Abstract

We developed SAW gas sensor for monitoring SOx gas with high sensitivity. It was fabricated as a microsensors for detecting SOx gas by depositing sensing material on SAW device. As a detecting layer material, CdS was selected. Deposition of CdS in the form of thin films was carried out by the ultrasonic spray pyrolysis method using ultrasonic spray nozzle. Thin films with the uniform and large surface area for sensors were deposited. The stable pyrolysis environment provided by uniform and fine droplets formed by spray nozzle made it possible to obtain thin films with excellent quality. The minimum grain size of the CdS thin films was about 50 nm when deposited at 300 °C. SAW gas sensors showed reasonable sensitivity and reproducibility. Further studies are required to investigate the interference of other gases to SOx gas detection.

1. 서론

포항공과대학교 재료금속공학과
(Department of Materials Science and Engineering,
Pohang University of Science and Technology
(POSTECH))

* 경북대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering, Kyungbook
University)

** 포항공과대학교 화학공학과
(Department of Chemical Engineering, POSTECH)
<접수일자 : 1996년1월 11일>

SOx 가스는 최근 환경 문제와 관련해서 그 감지 및 제거에 대한 관심이 높으나, 아직도 널리 활용될 수 있는 경제적인 센서가 없는 실정이다. 센서로 쓰이기 위해서는 SOx 가스의 농도가 0.1 - 0.01 ppm 이하 수준에서 선택적인 감도를 가질 것이 요구되며, 기존의 반도체형 세라믹이나 UV 법으로는 그 한계가 아직 뚜렷하다.

본 연구에서는 SOx 에 민감한 새로운 형태의 고감도 가스 센서로서 기존의 신호처리용 device로 많이 이용되고 있는 Surface Acoustic Wave(SAW) Device 를 이용한 SOx 가스센서를 개발하고자 하였다.

SAW device는 원래 신호 처리용 기기로 1965년

White와 Voltermer¹¹⁾에 의해 처음 개발이 이루어진 후 최근까지도 주로 신호 처리 분야에서 급속한 발전을 이룩하였다. 최근에는 탄성 표면과의 주위 환경에 민감한 특성이 발견되어 센서로 응용, 개발이 되기 시작했는데, SAW 센서로서의 실질적인 연구는 70년대 중반에 들어서야 본격적으로 이루어 졌다. 기본적인 물리량의 측정에 관한 연구는 이미 상당한 수준에 이르렀다.¹²⁾ 최근의 연구 동향은 화학, 생물학적 가스 센서의 개발에 노력이 집중되고 있는데 이는 단순한 SAW 지연선에 의한 발전기외에 지연선 위에 측정하고자 하는 가스 종류에만 민감한 얇은 피막층을 증착시켜 그 신뢰성, 정확성, 내구성, 감도 등을 증가시키고자 하는 것이다.

SAW 가스 센서는 감지 한계가 수십 ppb(parts per billion)에 이르며, 감응 시간 또한 매우 빠르기 때문에 SO_x, NO_x 등 여러가지 종류의 고감도 센서로서 크게 주목을 받고 있다.

일반적으로 SAW 가스 센서를 개발하기 위해서는 다음과 같은 요소기술이 확보되어야 한다.

- 1) 단결정 육성 및 결정 평가
- 2) Inter Digital Transducer(IDT)의 설계와 제작
- 3) Oscillator의 구성 및 제작
- 4) 가스 감응성 박막재료의 선정 및 박막 증착

특히 대상가스에 대한 선택성이 뛰어나면서도 화학적으로 안정한 물질의 선택 및 이의 박막화 공정이 개발되어야 한다. 가스의 종류에 따라서 여러가지 감응물질이 시도되어 왔으며, SO_x의 경우에는 Tungsten oxide(WO₃), triethanolamine(TEA) 등이 시도된 것으로 보고되고 있다. 특히 TEA 등 유기물질의 경우에는 반응성이 뛰어난 것으로 관찰되었으나 장기간 사용할 경우 안정성이 떨어져서 센서 재료로서 적절치 못한 단점이 또한 보고되고 있다.

본 연구에서는 무기물질 중에서 SO_x 가스에 대한 우수한 선택성이 예상되는 CdS¹³⁾를 선택하고, 원료 용액을 초음파 노즐로 가열된 기관위에 미세 분무시켜 화학반응을 통해 원하는 박막을 얻는 방법인 초음파 분무 열분해법을 이용하여 이를 박막화 하였으며 특성 평가를 통해 SAW 가스 센서로서의 가능성을 시험하였다.

II. 실험방법

1. USP 박막 증착 장치 제작

본 실험에서 사용한 초음파 분무 열분해(Ultrasonic Spray Pyrolysis, USP) 박막증착장치는 진공반응기를 중심으로 한 진공 장비 시스템과 기관 가열장치, 가스 유입 조절장치, 증착용 원료 용액 주입용 mini-solenoid 밸브, 밸브조정 및 전원공급장치, 용액 저장 및 주입용 syringe pump, 초음파 분무 노즐과 전원 공급장치로 이루어져 있다. 그림 1은 제작된 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 진공 반응기는 지름 160mm, 높이 280mm의 파이렉스 유리로 만들어져 증착과정을 직접 육안으로 확인할 수 있도록 되어 있다. 진공반응기 내의 진공도는 10⁻² ~ 10⁻³ torr를 유지하였으며, butterfly 밸브를 사용하여 조절하였다.

증착용 용액은 미세 분무 액적으로 만들어 Ultrasonic Nozzle(SONO-TEK, MODEL 8700-120MS)을 이용하여 진공반응기에 주입하였다. 기관 히터는 최고 1000℃까지 가열할 수 있도록 제작되었다.

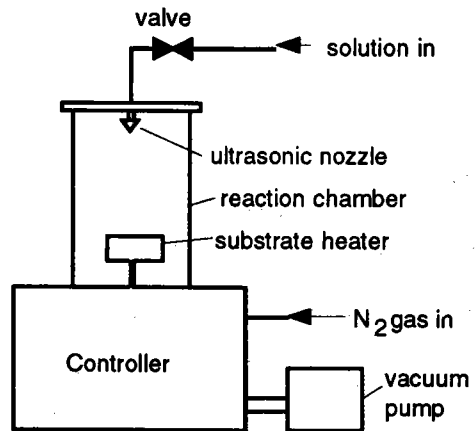


그림 1. 초음파 분무 열분해 장치의 개략도

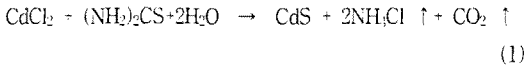
Fig. 1. Schematic diagram of set up for ultrasonic spray pyrolysis process.

2. 증착용 용액의 제조 및 박막의 증착

순도 99.99% Cadmium Chloride(CdCl₂)와 순도 99%의 thiourea[(NH₂)₂CS]를 부피비 1:1로 정량하여 준비한 혼합 분말을 증류수에 용해시켜 0.0035, 0.010, 0.025 M의 수용액 상태로 만들어 원료 용액을 제조하였다. 적절한 혼합 및 용해 상태를 얻기 위하여 60℃ ~ 70℃에서 1시간 동안 교반하였다.

cadmium chloride와 thiourea로 부터의 CdS 박막의 증착은 300℃ ~ 450℃ 범위에서 식(1)의 반응에 의해

서 가능한 것으로 이미 보고되고 있다.^[4]



최적의 박막을 얻기 위해서 용액의 농도, 용액 유입 속도, 기판온도, 반응기 압력 등의 변화에 따른 박막 성장거동을 관찰하였다.

3. SAW 가스 센서의 제작

SAW Device 제작에 필요한 기판은 LiTaO₃ 단결정 (Y-cut)을 사용하였고 표면탄성파의 진행방향은 Z축 방향이 되도록 설계 제작하였다. Device의 구조는 dual type 을 택하여 가스 센서로서 작동할 시에 외부 환경의 영향이나 잡음의 영향을 제거할 수 있도록 하였다. IDT는 표준 single electrode type을 택하였으며, 입력 IDT는 64개, 출력 IDT는 20개의 전극쌍을 갖도록 하여 중심주파수가 40 MHz 가 되도록 제작하였다. Remez algorithm을 이용하여 device의 성능을 simulation 하는 과정을 거쳤다. IDT는 알루미늄 박막을 기판위에 증착하고 표준반도체 집적회로 제조공정에 따라서 제작하였다. 제작된 Dual-type SAW Device 의 한쪽 입출력 IDT 사이에 5mm×5mm 면적에 CdS 박막을 증착하였다. 분무의 방향과 기판과의 각도는 90° 로 유지하였으며, 증착실험을 통해서 얻어진 최적의 공정을 채택하였다.

4. SAW 가스 센서의 감응성에 대한 평가

제작한 센서의 SO₂ 가스에 대한 감응성 평가를 위해 제작된 장치의 개략도는 그림 2 에 나타낸 바와 같다. He 가스에 적정량의 SO₂ 가스를 혼합하여 센서에 노출한 후 SAW 중심주파수의 변화 혹은 SAW 의 지연(delay)을 측정할 수 있도록 구성되었다. SO₂ 가스의 공급은 1 % (10⁴ ppm) SO₂ 가 함유된 He 가스를 이용하여 그 이하의 농도는 공기와 적절한 비율로 혼합하여 조절하였다. 특히 습도의 변화에 따른 오차를 최소화하기 위해서 수분제거트랩을 이용하여 수분을 제거하였다. 센서를 반응기내의 평면 가열판위에 밀착시켜서 측정중 일정한 온도를 유지하도록 하였다. 온도변화에 따른 SO₂ 가스감응성을 평가하였다.

측정방법은 우선 공기를 55 cc/min 의 유속으로 반응기에 유입하면서 오실로스코프를 통해서 표면탄성파

형을 관찰하고 안정한 파형이 얻어지면 일정한 농도의 SO₂ 가스를 유입시키면서 파형의 변화를 관찰하였다. 이 경우에 앞서 지정한 바와 같이 중심 주파수의 변화를 측정하거나 혹은 표면탄성파의 시간지연(time-delay)를 측정할 수 있다. 본 실험에서는 우선 시간지연(Δt)을 SO₂ 농도변화 및 노출시간, 온도에 따라 측정하였다.

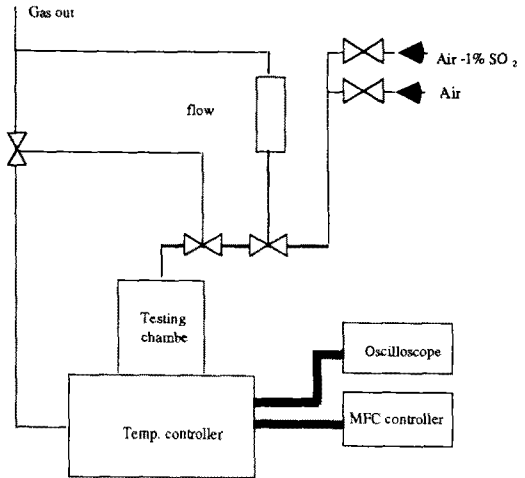


그림 2. SAW 가스 센서의 SO₂ 가스 감응 측정 장비의 개략도

Fig. 2. Schematic diagram of SO₂ gas sensing characterization set up for SAW gas sensor.

III. 결과 및 고찰

1. CdS 박막의 증착

glass 기판과 LiTaO₃ 단결정 기판에 증착된 박막은 a축 격자 상수가 4.135Å, c축 격자상수가 6.713Å인 hexagonal würtzite 구조를 보였다. 이는 다른 연구보고들^[5,6]과 비교하여 거의 같은 결과이나, 본 실험에서는 약 100°C 낮은 온도에서 결정상의 형성을 관찰할 수 있었다. 이는 초음파 분무 열분해법이 기계적으로 상당한 운동에너지를 공급하는데 기인하는 것으로 보인다. 박막의 형성에 영향을 주는 여러가지 공정변수, 즉 기판온도, 원료용액의 농도, 용액의 주입속도의 변화에 따른 박막 성장속도 및 그 특성변화는 다음과 같다.

기판 온도의 영향

CdS 박막의 증착은 200 ~ 400°C의 광범위한 온도 영역에서 가능한 것으로 보고되고 있다^[5]. 그림 3 은

같은 종류의 glass기판 위에 기판온도를 달리하여 증착하여 얻은 CdS 박막의 XRD pattern을 보이고 있다. 300℃에서는 hexagonal 구조의 결정화가 일부 진행되고 있음을 보여주고 있으며 아직도 상당한 비정질상이 잔존하는 것을 알 수 있다. 반면에 350℃에서는 완전 결정화가 이루어지고 있을 뿐만 아니라 C 축 방향으로 대부분의 결정입이 배열하고 있어 강한 우선방위 경향을 보여주고 있다. 비교적 저온에서 cubic 상의 결정입이 형성된다는 보고^[7]와는 달리 본 실험 조건에서 cubic 상의 형성을 확인할 수 없었다.

LiTaO₃ 단결정 기판을 사용하여 CdS 박막을 제조한 경우에도 glass 기판과 거의 유사한 결과를 얻었으며 그림 4 에서 보여주는 바와 같이 Si 단결정을 이용한 경우 280℃ 에서 hexagonal 구조의 무방향성의 결정화된 박막을 얻을 수가 있었다.

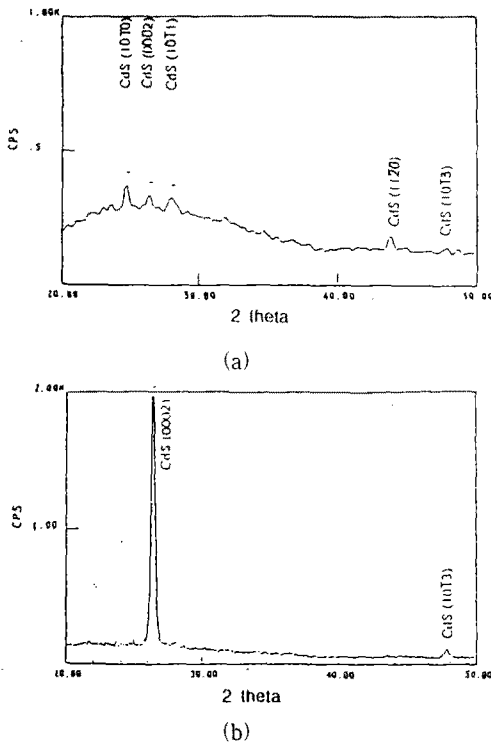


그림 3. 0.035M 용액을 이용하여 (a) 300 °C, (b) 350 °C 에서 유리기판위에 증착한 CdS 박막의 XRD 결과

Fig. 3. X-ray diffraction patterns of CdS thin films on glass at different temperatures (a) 300 °C, (b) 350 °C. The concentration of solution was 0.0035 M.

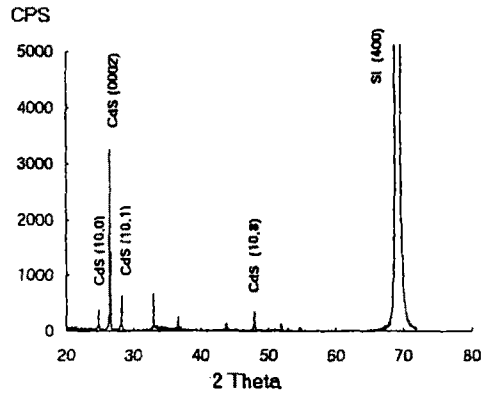


그림 4. 0.025M 용액을 이용하여 280 °C 에서 실리콘 단결정 기판 위에 증착한 CdS 박막의 XRD 결과

Fig. 4. X-ray diffraction pattern of CdS thin film deposited at 280 °C using 0.025 M solution on Si single crystal.

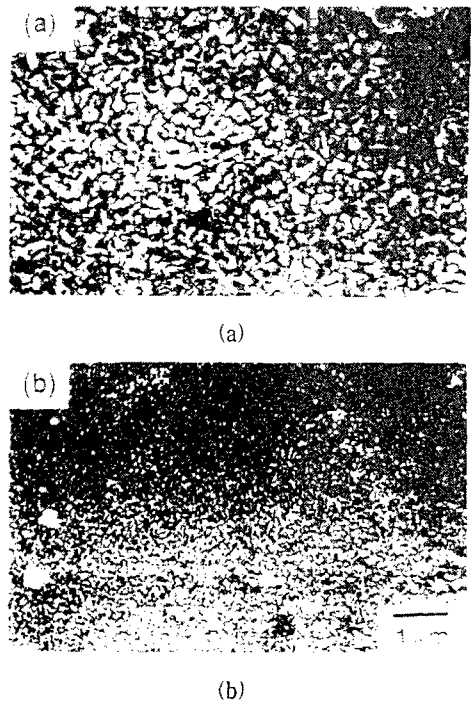


그림 5. 0.035M 용액을 이용하여 (a) 350 °C, (b) 280 °C 에서 유리기판위에 증착한 CdS 박막의 SEM 사진

Fig. 5. SEM micrograph of CdS thin films deposited on glass substrate at (a) 350 °C, (b) 280 °C, using 0.0035 M solution.

그림 5는 서로 다른 온도에서 glass 기판에 증착된 CdS 박막의 SEM 관찰 사진이다. 350°C에서 증착된 박막은 0.2 - 0.3 μm 정도 크기의 입자들로 치밀한 구조를 이루며, 비교적 평탄한 표면 형상을 보인다. 280°C에서 증착된 박막에서는 350°C의 미세구조와 비교하여 보다 작은 수십 nm 수준의 입자들로 이루어져 있음을 보인다.

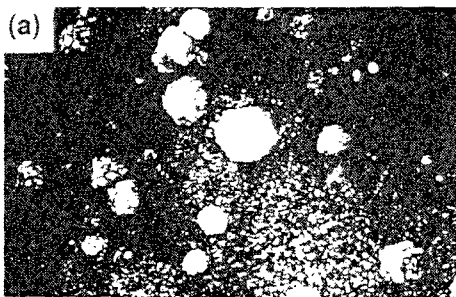
원료 용액의 농도의 영향

그림 6은 LiTaO₃ 단결정 기판위에 300°C에서 농도를 달리하여 증착하였을 때 비교적 저 배율에서 박막의 형상을 본 것이다. 낮은 농도인 0.010 M에서는 비교적 평탄하고 깨끗한 박막의 표면이 관찰되었으나, 높은 농도인 0.025 M에서는 구형의 입자들이 표면에 다수 분포하고 있으며, 표면이 평탄하지 못한 형상을 보이고 있다. EPMA 분석결과 표면의 이들 구형입자들은 모두

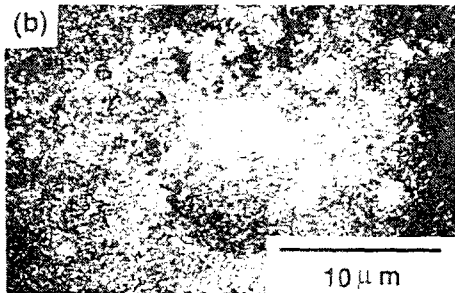
Cd : S 성분비가 1:1인 CdS 입자임을 확인할 수 있었다. 이렇듯 표면에 구형입자의 CdS가 존재하는 이유는 액적이 기판에 도달되기 이전에 용매의 증발이 일어나면서 초기 용액의 농도가 높은 경우에는 보다 쉽게 용질의 precipitation이 일어나는 과포화 상태에 도달할 수 있게 되므로 액적의 표면 뿐만 아니라, 전 액적에 걸쳐 precipitation 현상이 일어나기 때문으로 보인다.

그림 7은 보다 고배율에서 관찰한 SEM 사진을 보여준다. 원료용액의 농도가 0.025 M인 경우 grain size가 약 100nm 수준이며, 0.010 M인 경우는 약 60 nm의 크기를 보이고 있다. 초기 원료용액의 농도가 낮아질수록 결정립의 미세화가 이루어짐을 알 수 있다.

이와 같이 원료 용액의 농도는 박막의 성장 속도와 같은 물리적인 요인이외에 박막의 미세구조에도 지대한 영향을 끼치고 있음을 확인하였다. 따라서, 농도가 낮을수록 균일하고 매우 평탄한 외형적인 morphology를



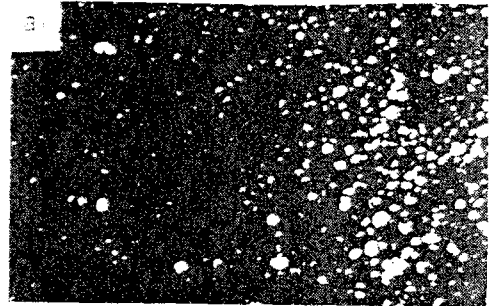
(a)



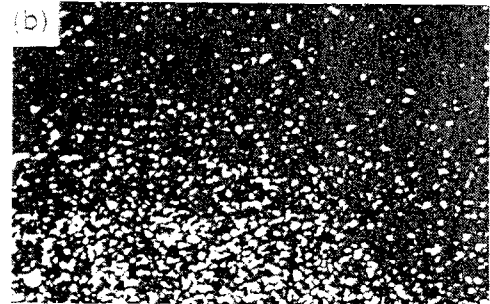
(b)

그림 6. 300 °C에서 (a) 0.025 M, (b) 0.010 M 용액을 이용하여 LiTaO₃ 단결정 기판위에 증착한 CdS 박막의 SEM 사진(×3,000)

Fig. 6. SEM micrograph of CdS thin films deposited on LiTaO₃ single crystal substrate at 300 °C, with (a) 0.025 M, (b) 0.010 M solution. (×3,000)



(a)



(b)

그림 7. 300 °C에서 (a) 0.025 M, (b) 0.010 M 용액을 이용하여 LiTaO₃ 단결정 기판위에 증착한 CdS 박막의 SEM 사진(×20,000)

Fig. 7. SEM micrograph of CdS thin films deposited on LiTaO₃ single crystal substrate at 300 °C, with (a) 0.025 M, (b) 0.010 M solution. (×20,000)

얻을 수는 있으나, 박막의 성장속도는 상대적으로 낮아 지기 때문에 적절한 농도의 선택이 중요함을 알 수 있다.

용액 유입 속도의 영향

원료용액이 저장용기에서 부터 초음파 노즐을 통해 반응기로 유입되는 유입속도는 박막의 성장속도를 결정할 뿐만 아니라, 그림 8 에서 보는 바와 같이 박막의 미세구조도 상당한 차이를 유발하는 것을 알 수 있다.

유입 속도가 느린 경우 같은 원료 용액을 오랜 시간에 걸쳐 열분해 반응을 시킨 것으로 생성된 CdS 상이 성장할 수 있는 보다 충분한 시간을 가졌을 것으로 판단된다. 기판 온도는 300 °C이며, 원료 용액의 농도가 0.025 M일때 유입 속도가 분당 0.08 ml인 경우 결정립의

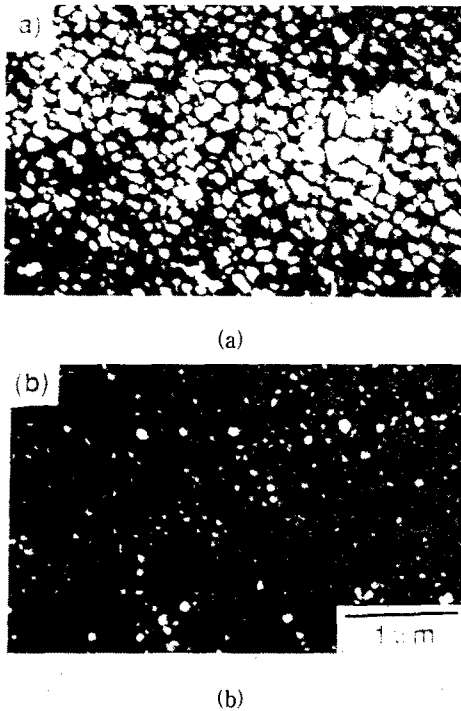


그림 8. 300 °C에서 0.025 M 용액을 이용하여 LiTaO₃ 단결정 기판위에 (a) 0.08 ml/min, (b) 0.11 ml/min 의 용액 공급 속도로 증착한 CdS 박막의 SEM 사진

Fig. 8. SEM micrograph of CdS thin films deposited on LiTaO₃ single crystal substrate at 300 °C using 0.025 M solution for different flow rate (a) 0.08 ml/min, (b) 0.11 ml/min.

크기(grain size)가 125 nm 수준인데 반해, 보다 빠른 유입 속도인 분당 0.11 ml로 짧은 시간에 열분해 반응을 거친 시편의 경우 보다 작은 결정립의 크기인 약 80 nm 수준임을 관찰할 수 있다.

유입 속도가 박막의 형상 및 결정립의 크기에 영향을 끼칠 뿐만 아니라 생성된 박막의 우선 방위에도 변화를 보여주었다.

상대적으로 낮은 유입 속도에서 hexagonal (0002)면 우선방위가 크게 향상되었음을 관찰할 수 있었다. 앞에서 언급하였듯이 고온에서 증착한 CdS 의 상일수록 (0002)면의 우선 방위가 관찰되었는데, 우선방위의 결정성을 좌우하는 변수에는 온도 이외에도 유입 속도에 의해서 결정되어질 수 있다는 것을 보여준다.

2. SO₂ 가스 감응성

전술한 CdS 박막 증착조건에 따른 박막의 형상 및 결정화 특성변화의 실험결과로부터 LiTaO₃ 단결정에 제작된 SAW Device에 증착온도 300°C, 용액농도는 0.010 M, 용액주입속도는 0.222 ml/min 에서 약 140 nm 두께의 CdS 박막을 형성시킨후 SO₂ 가스 감응 실험을 행하였다.

감응실험 반응기내에 일정한 SO₂ 농도의 혼합가스를 주입하며 온도, 시간에 따른 표면탄성파를 검출하고 탄성파의 지연시간(delay time)을 측정하였다.

그림 9 는 센서의 온도 65°C 에서 SO₂ 5000 ppm의 경우 노출시간의 변화에 따른 표면탄성파형을 보여준다. 노출시간이 길어짐에 따라서 표면탄성파의 지연시간(Δt)이 증가하는 것을 보여준다.

그림 10 은 65°C 에서 SO₂ 가스의 다양한 농도분위기에 노출된 시간에 따라 SAW의 지연시간을 3회 측정된 결과이다. 일반적으로 SO₂ 농도의 증가에 따라서 Δt 가 증가하는 것을 보여주고 있다. 각 측정조건에서 Δt 값에 큰 오차범위가 있음이 나타나고 있으나 이는 지연시간 측정모드의 부정확성에 일부 기인한 것으로 판단된다. Δt 측정모드에서 주파수 변화(Δf) 측정모드로 변환이 가능하면 그 정확도를 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

센서를 실제 운영하는데 있어서, 앞에서 말한 바와 같이 농도에 따라 나타나는 감응의 안정성과 함께 반응가스에 대해 흡착이 종결된 이후 반응가스가 제거된 경우 원상태로의 회복능력을 가져야 한다. 그래야만 장시간에 걸쳐 반복된 가스 감응상황에서도 안정된 센서

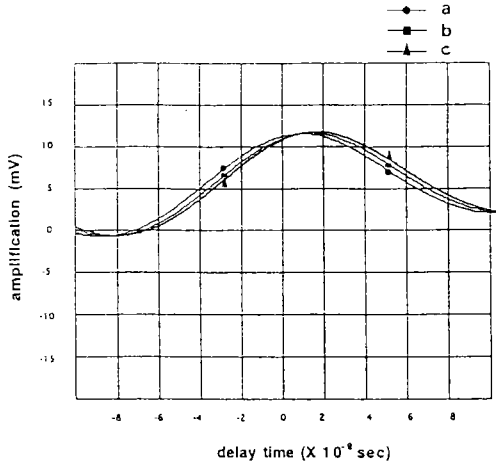


그림 9. 65 °C에서 5000 ppm 의 SO₂ 가스에 노출 되었을 때, 노출 시간에 따른 SAW 지연 특성 (a) 0 분, (b) 20 분, (c) 30 분

Fig. 9. SAW profiles as a function of exposure time to 5000 ppm SO₂ gas at 65 °C, (a) 0 min, (b) 20 min, (c) 30 min.

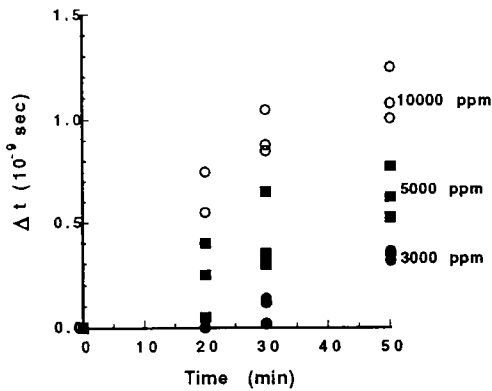


그림 10. 여러 가지 SO₂ 가스 농도에 대한 노출 시간에 따른 지연 시간의 변화

Fig. 10. Change in delay time as a function of exposure time to various SO₂ gas concentrations.

로서의 재현성을 보여줄 수 있기 때문이다. 이러한 SO₂ 감응의 가역성을 검토하기 위해서 일정한 SO₂ gas 농도에 노출된 후 SO₂ 가스의 유입을 중단하고 공기를 주입하면서 Δt 가 시간에 따라 어떻게 변화하는지를 측정하였다. 그림 11 은 5000ppm SO₂ 에 50분간

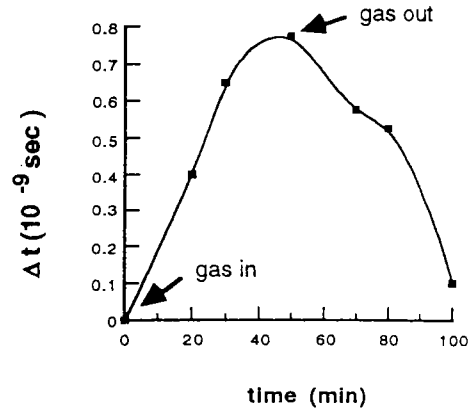


그림 11. 65 °C 에서 5000 ppm 의 SO₂ 가스에 대한 감응 가역 특성

Fig. 11. Complete response cycle of SAW detection of 5000 ppm SO₂ gas at 65 °C

노출한후 공기를 흡입시키며 Δt 를 측정 한 결과이다. 비교적 높은 SO₂ 농도이나 안정한 Δt 값을 얻기 위해서 필요한 시간과 다시 원상태로 회복하기 까지 소요되는 시간이 거의 같은 시간이 소요되는 것을 알 수 있다.

실제 센서로 응용하기 위해서는 주어진 농도에 대한 안정한 값을 갖게 되는 반응시간(response time)이 훨씬 빨라져서 수분이내로 되어야 한다. 이를 위해서는 감응온도(센서가열온도)를 100°C , 혹은 그 이상으로 증가시키면 가능할 것으로 판단된다. 아울러 현재 수천 ppm 의 SO₂ 가스농도에 대해서 수 ppm 수준에서 감응할 수 있기 위해서는 앞서 언급했던 바와 같이 Δt 측정모드에서 Δf 측정모드로 변환해야 할 필요성이 존재한다. 또한 센서로서 응용되기 위해서는 여타 가스(예, 수분, CO 가스,NOx 가스등)의 간섭성도 확인되어야 할 필요가 있다.

IV. 결론

초음파 분무노즐을 이용한 초음파 분무 열분해법을 응용하여 CdS 박막을 SAW device에 증착 하였고, 이를 이용하여 SO₂ 가스 감응용 SAW 가스 센서 시제품을 제작하였다.

초음파 분무 열분해에 의한 화학 증착공정으로 CdS 박막 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 300°C 이상에서 반응기로 유입되는 원료 용액의 유입 속도가 느릴 수록 hexagonal 구조의 높은 (0002)면 우선 방위의 결정성을 보였다.
- (2) 균일한 표면의 박막을 증착하기 위해서는 초기의 원료용액을 일정한 농도 이하로 유지하여야 한다.
- (3) 여러 증착 변수를 조절하면, 적정 조건에서 매우 미세한 결정립으로 형성된 균일한 CdS 박막을 증착할 수 있었다.

최적의 조건에서 CdS 박막을 증착하여 제작한 SAW 가스 센서의 SO₂ 가스에 대한 감응성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) SO₂ 가스의 농도와 노출 시간에 비례하여 표면 탄성파의 지연시간(Δt) 이 증가하는 것을 관찰하였다.
- (2) 같은 측정 환경 아래 SAW 가스 센서의 반복된 흡·탈착 반응시 지연시간(Δt)의 증가 및 감소가 관찰되어 가역성을 확인하였다.
- (3) 감응성 실험결과 CdS 박막형 SAW 가스 센서가 SO₂ 가스감지용 센서로서의 활용 가능성이 확인되었다.

V. 참고 문헌

- [1] R.M.White, F.W.Voltmer, "Direct piezoelectric coupling to surface elastic waves". Applied Physics Letters, Vol 7, No.12, pp 314-316, 1965.
- [2] A.D'Amico, E.Verona, "SAW Sensors", Sensors and Actuators, Vol 17, pp 55-56, 1989.
- [3] 이찬우, 노용래, 정종식, 백성기, "아황산 가스감지용 표면탄성파 가스 센서의 제조방법", 대한민국 특허출원중, 1995.
- [4] J. B. Mooney and S. B. Radding, Annu. Rev. Mater. Sci., Vol 12, pp 81-101, 1982.
- [5] D. S. Albin and S. H. Risbud, "Spray Pyrolysis Processings of Optoelectronic Materials", Adv. Ceram. Mat., 2[3A], pp 243-252, 1987.
- [6] R. R. Chamberlin and J. S. Skarman, "Chemical Spray Deposition Process for Inorganic Films", J. Electrochem. Soc., Vol.113, No.1, pp 86-89, 1966.
- [7] B. F. Shirreffs, C. H. Cheng, K. Geib and K. A. Jones, "CdS Films Grown by Spray Pyrolysis in an N₂ Ambient", J. Electrochem. Soc., Vol.131, No.2, pp 440-443, 1984.

著 者 紹 介

이 찬 우

1993년 포항공대 재료금속공학과 졸업(공학사), 1995년 포항공대 동 대학원 졸업(공학석사), 현재 쌍용정보통신 통신시스템부 근무.

노 용 래

『센서학회지 제5권 제1호』 논문 96-5-1-01 p. 8 참조
현재 경북대학교 센서기술연구소/전자공학과 조교수

정 종 식

1975년 서울대학교 화학공학과 졸업(공학사), 1977년 한국과학기술원 화학공학과 졸업(공학석사), 1984년 University of Connecticut 화학공학과 졸업(공학박사), 1987년~현재 포항공과대학교 화학공학과 부교수



백 성 기

1971년 서울대학교 금속공학과 졸업(공학사), 1981년 Cornell University 재료공학과 졸업(공학박사), 1986년 ~ 현재 포항공과대학교 재료금속공학과 교수