

PA14) Taguchi 실험 계획법에 의한 황화수소 반도체 가스 센서의 개발

Development of a Semiconductor Gas Sensor for the Measurement of H₂S with Taguchi Experimental Design

김선태 · 최일환 · 허현승 · 김지나¹⁾ · 박정은¹⁾ · 김단령¹⁾
 대전대학교 환경공학과, ¹⁾한국과학영재학교

1. 서론

인간의 오감은 시각, 청각, 촉각, 미각 및 후각 등으로 구성된다. 최근 과학기술의 괄목할만한 진보에 동반하여 감각기관에 관한 연구와 이들을 대행하는 기기 등의 개발이 다방면에서 시도되어지고 있으며, 그 중 사람의 후각에 관한 것으로 인간의 후각 기능을 모방한 가스센서의 개발이 활발히 진행되고 있다. 이러한 가스센서가 환경유해가스를 손쉽게 감지할 수 있다는 장점을 부각시킴으로써 가스센서의 연구는 더욱 활발히 진행되고 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 대표적 악취 물질인 황화수소 가스를 고감도 검지하는 반도체 가스센서를 시스템 설계법의 하나인 Taguchi 실험계획법으로 개발하고자 하였다.

2. 연구 방법

그림 1은 본 연구에서 사용되어진 센서소자기판으로, 알루미나(Al₂O₃) 기판에 전면은 금으로 된 전극과 후면에는 백금으로 된 히터가 각각 인쇄되어있다. 전극간격은 약 0.2 mm, 두께는 약 0.3 mm로 설계하였으며, 히터는 platinum paste를 이용하여 약 7±1.5 Ohm(Ω)의 저항을 갖는 후막인쇄공정으로 제작하였다. 센서는 1100℃까지 소성이 가능한 소성로(Lindberg/Blue M, BF51800 Series.)를 사용하여 센서를 소성하는데 사용되었다. 센서의 주물질과 첨가물질은 모두 Aldrich Chem. co., 99.9% 순도의 수준인 시약을 사용하여 분말상태로 잘 혼합한 후 paste 형태로 제조하였고, 평가에 사용되어진 표준가스는 979.6 ppm 수준의 황화수소 가스를 희석장치 등을 거쳐 12 ppm 미만의 농도로 주입하여 센서의 성능을 평가하였다.

반도체를 이용한 가스 센서를 제작시 실험설계의 인자에 대한 선정은 국내외 논문과 문헌을 통하여 선정되었으며, 표 1의 왼쪽과 같은 L-8(2⁷)의 직교배열표(orthogonal array)에 따라 오른쪽의 실험 계획을 작성하였다. 실험인자는 A~G까지 총 7개의 인자(parameter)에 대해 2개의 수준(level)으로 하였고, 실험인자 A는 주물질에 대한 비교로 SnO₂:WO₃ 구성된 물질에 첨가비율을 각각 1:1과 1:2로 사용했을 때의 비교이며, 또

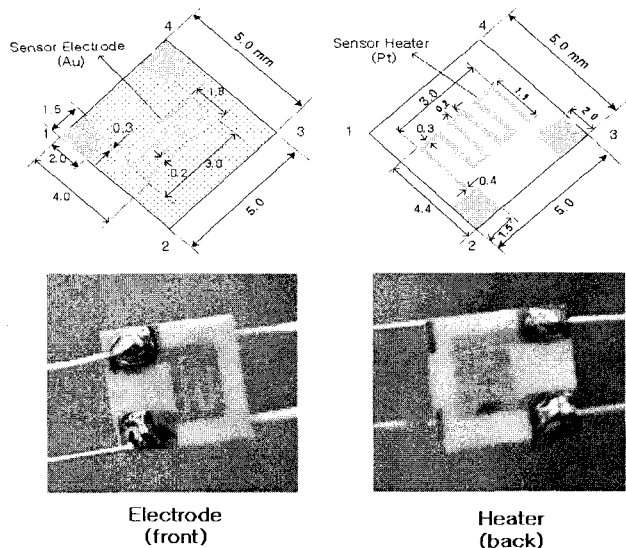


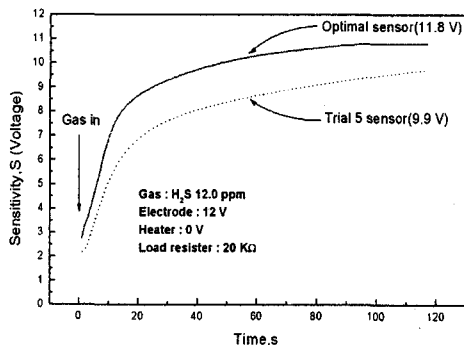
Fig. 1. The basic structure of a sensor substrate used in this study.

한 B 인자는 물질들을 혼합하는 binder 물질의 농도 비교로 TiO₂ 용액을 각각 10%와 75%에 따른 비교이다. 다음으로 C ~ E 인자는 첨가물에 대한 비교로, 선행 연구자들에 의해 연구된 Au-Pt, Pt, CeO₂, CuO 및 PdCl₂에 따른 사용 여부이다. 마지막 F, G 인자는 각각 첨가물의 첨가량(1%, 5%)에 대한 비교와 물질 혼합시간을 5분과 10분으로 했을 때의 비교로 최종적인 인자와 수준을 정하였다.

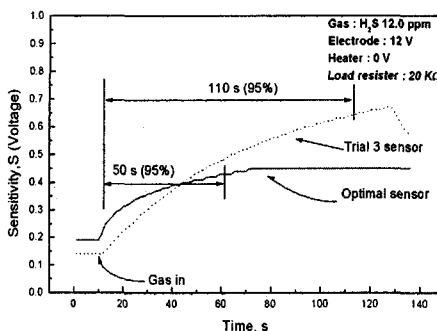
Table 1. Taguchi experimental design searching the optimum parameter condition.

| L-8(2 ⁷) orthogonal array | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G |
| Trial 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Trial 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Trial 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Trial 4 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Trial 5 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Trial 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Trial 7 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| Trial 8 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 |

| Parameter | Level-1 | Level-2 |
|---------------------|---|---|
| A Main Material(1g) | SnO ₂ :WO ₃ (1:1) | SnO ₂ :WO ₃ (2:1) |
| B Binder | TiO ₂ (10%) | TiO ₂ (75%) |
| C Additive 1 | Au-Pt(1:1) | Pt |
| D Additive 2 | CeO ₂ | CuO |
| E Additive 3 | PdCl ₂ | None |
| F Qt. of additives | 1% | 5% |
| G Agating time | 5 min | 10 min |



(a) Sensitivity



(b) Response time

Fig. 2. The results for the evaluation of sensor sensitivity and response time by Taguchi method.

3. 결과 및 고찰

표 1의 직교배열표(2⁷)와 7개의 인자와 2개 수준에 대한 Taguchi 실험계획을 통해 8번의 전혀 다른 실험을 설계할 수 있으며, 직교배열표를 이용한 Taguchi 법의 단 8번 실험은 128회(2⁷) 이상과 같은 효과를 얻을 수 있는 방법으로 센서 개발에 있어 제작방법에 대한 방해인자와 기여인자 등을 효율적으로 구분할 수 있는 시스템적인 실험 방법이다.

센서의 대표적인 평가방법으로는 감도와 반응속도 등이 있으며, 본 연구에서도 센서 평가 방법을 감도와 반응속도에 대하여 수행하였다. 그 결과 그림 2와 같은 센서의 감도와 반응속도에 대한 성능을 비교할 수 있었다. 즉, 그림 2의 (a)는 센서의 감도에 대한 기존 방법과의 비교로 시행착오적인 수행방법으로 개발된 센서(Trial 5)는 황화수소 가스에 감도 수치가 9.9V인 반면, Taguchi 법에 의해 개발된 최적 조건의 센서(Optimal)는 11.8V 감도 수치를 나타내 약 1.9V의 감도 개선 성능을 확인할 수 있었다. 이때의 최적조건을 살펴보면, 주물질 SnO₂:WO₃(2:1)에 첨가물 Pt와 CuO만을 5%씩 첨가하고 나머지 첨가물은 사용하지 않는다. 또한, binder물질 TiO₂(78%)를 이용해 10분간의 혼합을 행하여 제작하는 방법으로 최종 탐색되었다.

마지막으로 그림 2의 (b)는 센서 반응속도에 의한 비교로 역시 기존의 반응속도는 110s인 반면, Taguchi 법에 의해 개발된 센서의 황화수소 검지 속도는 50s로 50%이상의 반응 시간을 단축할 수 있었

다. 이때의 최적 반응속도를 위한 센서 제작 방법은 주물질 SnO₂:WO₃(2:1)에 첨가물 Pt와 CeO₂만을 5% 사용하고, 나머지 첨가물 CuO와 PdCl₂는 첨가하지 않는 방법으로 물질의 혼합시간은 10분 보다는 5분의 시간이 반응속도를 높이는 우수한 방법으로 탐색되었다. 또한, 첨가물 PdCl₂인 경우는 감도와 반응속도를 개선하는 물질로 적절하지 않는 것으로 방행인자임을 확인할 수 있었다.